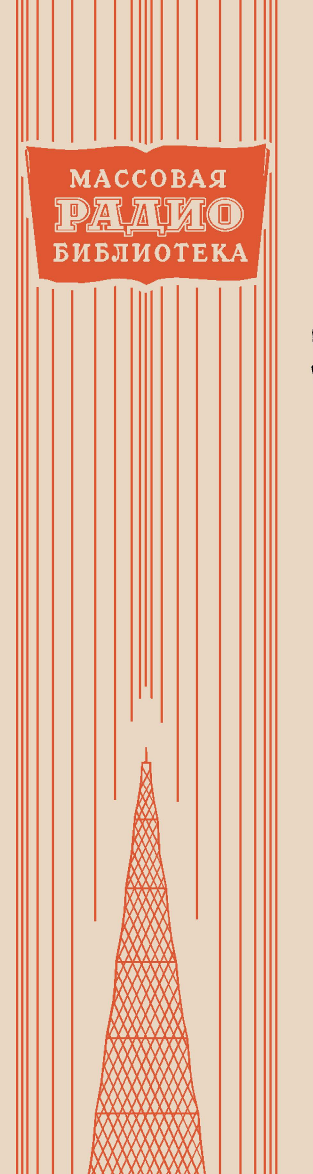
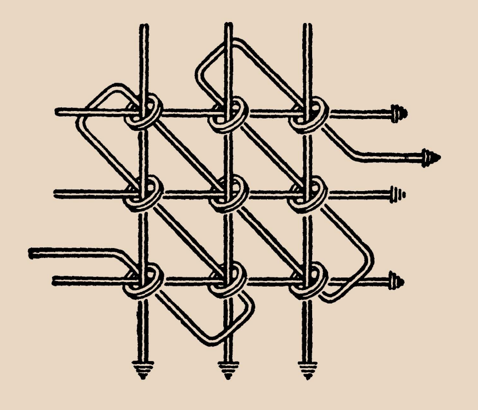


Л. П. КРАЙЗМЕР

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА





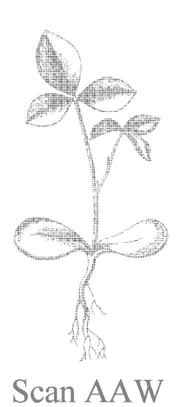
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 337

Л. П. КРАЙЗМЕР

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

В книге содержатся сведения о значении и месте применения запоминающих устройств в технике проводной связи и радиосвязи, в автоматике, вычислительной технике и научных исследованиях. Приводятся основные параметры и классификация запоминающих устройств. Популярно излагаются физические процессы, положенные в основу устройств, и описываются наиболее распространенные и интересные схемы и конструкции многообразных запоминающих устройств и их сравнительные характеристики.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и широкие круги лиц со средним образованием, работающих в области радиоэлектроники, связи, автоматики и вычислительной техники.

Автор *Крайзмер Леонид Павлович*

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

* * *

Редактор *В. В. Енютин* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 5/III 1959 г. Подписано к печати 29/IV 1959 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ 5,74 п. л. Уч.-изд. л. 6,6
Т-05543. Тираж 60 000 экз. Цена 2 р. 65 к. Зак. № 143.

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Вся многовековая история развития человеческого общества, как и жизнь каждого отдельного человека, связана с процессами получения, накопления, переработки и обмена разнообразной информации.

Источником этой информации является окружающий нас материальный мир. Человек при помощи органов чувств воспринимает информацию о мире; накапливает ее в своем организме или, иными словами, запоминает данные, сведения о внешней среде; перерабатывает и систематизирует полученную информацию и, наконец, обменивается накопленной информацией с другими людьми.

На первых этапах своего развития люди во всех этих процессах могли использовать лишь возможности, заложенные в их собственных организмах. Единственным средством получения информации являлись органы чувств, средством запоминания и переработки информации — нервная система и мозг человека и, наконец, обмен информацией между людьми осуществлялся только при помощи мимики и устной речи.

Однако по мере развития человеческой культуры, науки и техники все бóльшую роль в описанных процессах приобретали созданные человеком вспомогательные средства для получения, накопления, переработки информации и обмена ею. Органы чувств человек дополнил разнообразными приборами, которые в одних случаях значительно увеличили чувствительность естественных органов (например, микроскоп или телескоп, во много раз усилившие возможность видения глазом ничтожно малых или сильно удаленных предметов), а в других случаях позволили человеку обнаруживать и исследовать такие проявления материального мира, которые не оказывают непосредственного воздействия на наши чувства (магнитное поле, радиоактивное излучение, ультразвуки и т. д.).

Для накопления, длительного хранения и обмена информацией люди уже давно пользуются рисунками и письменностью. Позднее появилось книгопечатание и, наконец, в новейшие времена для хранения информации — фотография, граммофонная и магнитофонная запись и другие технические средства, а для обмена информацией — телеграф, телефон, радиосвязь, телевидение и т. д.

Наконец, для ускорения переработки информации, выраженной в числовом виде, используют различные счетные приборы — логарифмические линейки, арифмометры, табуляторы и другие, все более сложные и совершенные счетно-решающие устройства. Цепь развития этих устройств завершается в настоящее время универсальными электронными быстродействующими вычислительными машинами, которые уже сейчас в решении ряда разнообразных задач могут соперничать с человеческим мозгом, а по своему быстродействию, точности и надежности часто во много раз его превосходят.

В настоящей книге рассматриваются различные технические средства для запоминания так называемой дискретной информации, т. е. информации, состоящей из последовательности отдельных (дискретных) элементов. Как доказано В. А. Котельниковым, любая непрерывная функция с ограниченным частотным спектром может быть точно представлена конечным числом отдельных значений, взятых через достаточно малые промежутки времени. Таким образом, в соответствии с теоремой Котельникова практически любую непрерывную информацию можно представить в дискретной форме и, следовательно, любую информацию можно хранить в устройствах хранения дискретной информации. Эти устройства в различных случаях называют по-разному: запоминающими устройствами, накопителями информации, регистрами и т. д. В дальнейшем изложении мы будем чаще всего пользоваться термином «запоминающие устройства» или, сокращенно, ЗУ.

Применение первых технических устройств хранения дискретной информации относится к прошлому столетию и связано с развитием телеграфной связи. Например, телеграфную ленту при приеме на аппарате Морзе можно рассматривать как промежуточный этап хранения полученной по проводам информации до расшифровки ее телеграфистом. В 1858 г. Уитстоном была разработана система автоматического телеграфирования, при которой производится предварительная заготовка ленты путем ее перфо-

рации, т. е. пробивания отверстий по коду Морзе с последующей автоматической передачей заготовленной на перфоленте телеграммы при помощи специального трансмиттера. Подобные ЗУ на перфолентах до сих пор находят широкое применение в вычислительной технике, при программном управлении станками и т. д. Для повышения помехоустойчивости телеграфного приема по системе Бодо — Вердана применялась многократная передача сигнала с накоплением его (запоминанием) в специальных емкостных накопителях. При переприеме телеграмм в качестве промежуточного ЗУ используется запись на магнитную ленту.

Широкое применение находят ЗУ в автоматической телефонии. В схемах автоматических телефонных станций часто используется регистр — устройство, которое фиксирует набранный вызывающим абонентом номер, «запоминает» составляющие его цифры до конца набора и затем выдает этот номер в том же виде или в виде, пересчитанном в другую систему счисления. В автоматизированных системах дальней телефонной связи используются релейные накопители вызовов. Они принимают на себя вызов и запоминают его, если все каналы требуемого направления заняты. После освобождения канала накопитель вызовов подключает его к первому на очереди из вызывавших абонентов, вызывает этого абонента и посылает по каналу вызов требуемому абоненту в другом городе. В 1957 г. в Англии пущена в эксплуатацию АТС с электронным управлением и ЗУ на магнитном барабане. Благодаря применению ЗУ станция производит «прием заказов» на соединение с занятыми абонентами, которое осуществляется после их освобождения автоматически, без повторного набора.

В устройствах автоматики и телемеханики ЗУ — накопители информации — предназначаются для более или менее длительного хранения заранее подготовленных приказов (программы) и передачи их в нужный момент времени исполнительным органам; для накопления данных, подлежащих передаче по каналу телеизмерения; для хранения информации в ожидании ее переработки и т. д. Так, например, на третьем советском искусственном спутнике Земли имеется программное устройство, управляющее автоматическим функционированием научной и измерительной аппаратуры спутника. При этом производится непрерывная регистрация результатов научных измерений,

запоминание их за все время движения спутника и передача их на Землю при пролете спутника над специально выделенными для приема накопленной информации станциями, расположенными на территории СССР.

Важнейшими элементами таких машин, как впервые в мире разработанная в нашей стране машина «автомашинист», предназначенная для вождения электропоездов без машиниста, как машина, пилотирующая самолеты без летчика и др., являются их блоки памяти. В эти блоки закладывается программа работы данного кибернетического управляющего устройства, в соответствии с которой и осуществляется затем автоматически вся его работа.

Все большее распространение получают металлообрабатывающие — токарные, фрезерные, расточные и др. — станки с программным управлением, с записью программы в ЗУ на перфорированной или магнитной ленте.

Большое значение имеют ЗУ в радиолокационных устройствах. В так называемых системах индикации движущихся целей важную роль играют накопительные элементы, позволяющие сравнивать данные измерения расстояния до объекта при последовательных посылках и, таким образом, разделять подвижные и неподвижные отражающие объекты.

В системах связи с повышенной помехоустойчивостью, основанных на методе накопления и на корреляционном методе приема, также обязательными элементами являются накопители сигнала.

Несколько лет назад в Канаде была разработана система коротковолновой радиотелеграфной связи «Джанет», в которой вместо ионизированных слоев атмосферы для отражения коротких волн используются ионизированные следы метеоров. Так как эти следы сохраняются лишь очень короткое время (от долей секунды до нескольких секунд), а интервалы между появлением метеоров достигают десятков секунд, то вся работа телеграфиста должна предварительно фиксироваться в ЗУ. Затем, при появлении метеорного следа, создающего канал радиосвязи, вся накопленная информация с большой скоростью автоматически передается из ЗУ на приемную станцию.

В различных научных исследованиях, связанных со счетом частиц (исследование радиоактивности, космических лучей и т. д), широкое применение получили счетчики импульсов и пересчетные схемы, представляющие собой простейшие ЗУ, накапливающие и хранящие информацию

в дискретной форме. Решение задачи автоматизации научного эксперимента и обработки полученных данных требует широкого внедрения в научно-исследовательскую аппаратуру ЗУ, позволяющих накапливать и хранить в течение определенного времени получаемую в процессе эксперимента информацию.

Перечисленные примеры применения ЗУ достаточно наглядно свидетельствуют о том, что они находят все более широкое применение в самых различных областях науки и техники.

Однако особенно быстрое развитие новых типов ЗУ, основанных на самых разнообразных физических и химических принципах, происходило в течение последнего десятилетия в связи с потребностями бурно развивающейся электронной вычислительной техники.

До начала интенсивного развития электронной вычислительной техники, т. е. до середины 40-х годов, ассортимент ЗУ был весьма ограничен (перфолента, перфокарты, кинопленка, магнитная лента, электромеханические и электронные реле). Поэтому в первых образцах электронных машин конструкторы вынуждены были прежде всего использовать этот ограниченный ассортимент ЗУ, доставшийся в наследство от техники связи, звукозаписи, кинематографии и автоматики.

Однако перечисленные виды ЗУ не позволяли создавать быстродействующие малогабаритные устройства оперативной памяти. Поэтому началась разработка новых ЗУ, таких как ЗУ на ультраакустических линиях задержки, электростатических ЗУ на специальных накопительных электронно-лучевых трубках, ЗУ на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса и многих других.

Таким образом, стремление к удовлетворению нужд вычислительной техники привело к созданию большого количества новых устройств и конструкций, основанных на новых принципах, причем в последние годы наблюдается процесс интенсивного внедрения ЗУ, разработанных для вычислительных машин, в технику связи и автоматику.

Все сказанное свидетельствует о практической важности ознакомления с применяемыми в настоящее время ЗУ и об исключительной важности работ над исследованием, усовершенствованием и созданием новых образцов ЗУ, отвечающих все более высоким требованиям, предъявляемым к ним вычислительной техникой и другими областями науки и техники.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

1. СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ

Предназначенные для хранения величины мы можем представить (т. е. закодировать) в виде чисел в разных системах счисления. В настоящее время повсеместное распространение получила так называемая десятичная позиционная система счисления с основанием 10, в которой любые числа могут быть записаны с помощью десяти символов — цифр 0, 1, 2, 3 ... 9, причем этим цифрам придаются различные значения в зависимости от места их нахождения (позиции).

Действительно, когда мы пишем, например, число 1111, то первой справа единице мы действительно приписываем значение один, т. е. $1 \cdot 10^0$, вторую справа единицу мы расшифровываем как один десяток, т. е. $1 \cdot 10^1$, третья единица обозначает одну сотню, т. е. $1 \cdot 10^2$, четвертая — одну тысячу, т. е. $1 \cdot 10^3$ и т. д.

Таким образом, любое целое число N в десятичной системе счисления представляется в виде суммы произведений различных степеней десяти на коэффициенты, которые могут принимать одно из десяти возможных значений.

Сокращенно это можно записать так:

$$N = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i 10^i,$$

где $k_i = 0, 1, 2 \ldots 9$, а n — число разрядов в числе. Например, пятиразрядное число 12703 можно представить в виде суммы: $12703 = 1 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$. Здесь $k_0 = 3$; $k_1 = 0$; $k_2 = 7$; $k_3 = 2$ и $k_4 = 1$. Для упрощения записи числа мы пишем только значения коэффициентов 1, 2, 7, 0, 3, располагая их слева направо по убывающим номерам.

Позиционная система счисления с любым другим основанием r строится по такому же принципу, т. е. любое целое число в ней можно записать в виде:

$$N = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i r^i,$$

где k_i может принимать r различных значений. Например, если мы выберем основание $r=8$, то в такой восьмиричной системе счисления k_i может принимать одно из восьми возможных значений 0, 1, 2... 7, а то же десятичное число 12703 может быть представлено суммой: $12703 = 3 \cdot 8^4 + 0 \cdot 8^3 + 6 \cdot 8^2 + 3 \cdot 8^1 + 7 \cdot 8^0$ и записано в восьмиричной системе в виде 30637.

Наконец, полагая $r=2$ и $k_i=0$ или 1, число 12703 в выбранной нами теперь двоичной системе счисления можно представить суммой: $12703 = 1 \cdot 2^{13} + 1 \cdot 2^{12} + 0 \cdot 2^{11} + 0 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ и записать в виде 11000110011111.

С точки зрения хранения информации наиболее рациональным, очевидно, является ее кодирование в такой системе счисления, в которой ЗУ будут содержать наименьшее число элементов и в то же самое время эти элементы будут наиболее просты и надежны.

Предположим, что число элементов, например ламп, требуемое для хранения одного разряда числа, равно основанию системы счисления, т. е. что для хранения одной цифры в двоичной системе счисления требуются два элемента, в троичной системе — три элемента, в десятичной — десять элементов и т. д. Это предположение практически оказывается приблизительно верным. Сравним, какое количество элементов должно будет при этом содержать ЗУ при кодировании информации в различных системах счисления.

Если выбрать основание системы счисления r, то при количестве разрядов n общее количество элементов ЗУ будет $N=rn$, а наибольшее количество чисел, которое может быть зафиксировано в таком ЗУ, будет, очевидно, $M=r^n$.

Определим, при каком основании r ЗУ, пригодное для запоминания M чисел, будет содержать минимальное количество элементов N. Логарифмируя выражение $M=r^n$,

получим: $\ln M = n \ln r$, откуда $n = \frac{\ln M}{\ln r}$. Подставим полученное значение n в выражение $N = rn$, тогда получим $N = r \frac{\ln M}{\ln r}$.

Если теперь задаться, например, максимальной емкостью ЗУ $M = 10^6$ чисел, то при различных основаниях r количество элементов ЗУ N будет соответственно следующее:

r	2	3	4	5	10
N	39,2	38,24	39,2	42,9	60

Таким образом, с точки зрения минимума элементов в ЗУ наиболее выгодной оказывается троичная система счисления и почти равноценными ей — двоичная и четверичная системы.

Однако двоичная система обладает целым рядом дополнительных преимуществ. Если учесть, что числа в двоичной системе закодированы в виде определенных комбинаций только двух цифр 0 и 1 и приписать наличию тока или напряжения значение 1, а отсутствию тока или напряжения — значение 0, то это позволит представлять числа чрезвычайно просто и надежно в виде наличия или отсутствия посылок (импульсов) тока или напряжения. Кроме того, исключительная простота выполнения арифметических операций с числами, выраженными в двоичной системе счисления, обусловила почти исключительное использование этой системы в современных электронных вычислительных машинах. Наконец, самыми простыми и надежными элементами ЗУ являются элементы, которые могут находиться в двух устойчивых состояниях — типа двухпозиционного реле, находящегося в притянутом или отпущенном состоянии, заряженного или разряженного конденсатора, намагниченного или ненамагниченного сердечника и т. д. Это, в свою очередь, позволяет при использовании двоичной системы кодирования информации создавать надежные и очень простые по структуре ЗУ, в которых для запоминания каждого разряда двоичного числа достаточно иметь один элемент с двумя устойчивыми состояниями.

Приведенные соображения и явились причиной того, что почти все практически используемые ЗУ предназначаются для хранения дискретной информации, закодированной в двоичной системе счисления.

2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Запоминающие устройства характеризуются следующими основными показателями, обусловливающими целесообразность применения их для той или иной цели.

1. Емкость при технически приемлемых габаритах, выражаемая обычно количеством чисел соответственной разрядности. Так, например, емкость ЗУ на магнитном барабане машины «Урал» составляет 1024 тридцатишестиразрядных двоичных числа.

Показателем, который позволяет удобно сравнивать между собой свойства различных ЗУ, является их удельная емкость, выражаемая в двоичных единицах [1] на единицу объема $\left(\frac{дв.\ ед.}{см^3}\right)$.

2. Временны́е характеристики: время, необходимое для отыскания соответствующей ячейки ЗУ ($t_{поиска}$); время, необходимое для записи информации ($t_{зап}$); время считывания ($t_{счит}$); время, необходимое для стирания информации ($t_{стир}$); время, требующееся для восстановления или регенерации информации после считывания в тех ЗУ, где считывание сопровождается стиранием информации ($t_{рег}$).

Практически удобно характеризовать ЗУ временем обращения ($t_{обр}$), которое при записи и считывании обычно имеет величины одного порядка:

$$t_{обр} = t_{поиска} + t_{стир} + t_{зап} \approx t_{поиска} + t_{счит} + t_{рег}.$$

3. Важнейшим параметром ЗУ является надежность, т. е. соответствие между записанной и считываемой информацией, безошибочность работы ЗУ. Надежно действующее ЗУ должно обеспечивать минимальную, практически близкую к нулю возможность ошибок без применения слишком сложных методов предупреждения их (температурная стабилизация, жесткая стабилизация источников питания и т. п.). Понятие надежности включает также помехоустойчивость ЗУ, отсутствие влияния на сохранность информации записей и считываний в соседних ячейках ЗУ.

4. Важным свойством ЗУ является сохранность или разрушаемость зафиксированной в них информации при

---

[1] Двоичная единица — единица количества информации. 1 дв. ед. представляет собой количество информации, получаемой в результате опыта, заключающегося в одиночном выборе из двух равновероятных возможностей.

выключении устройства или случайных перерывах подачи электрического питания.

Среди прочих показателей, позволяющих сравнивать между собой ЗУ различных типов, укажем на их экономичность, т. е. расход энергии, необходимой для записи, считывания, стирания, регенерации, а в разрушающихся ЗУ и для сохранения информации, стоимость ЗУ, степень сложности их конструкции и обслуживания и, наконец, размеры ЗУ.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Исходя из принципов построения и использования (а не из физико-химических принципов действия элементов), ЗУ можно классифицировать следующим образом (рис. 1). С точки зрения возможностей обращения к той или иной ячейке их можно разделить на: а) ЗУ с последовательным

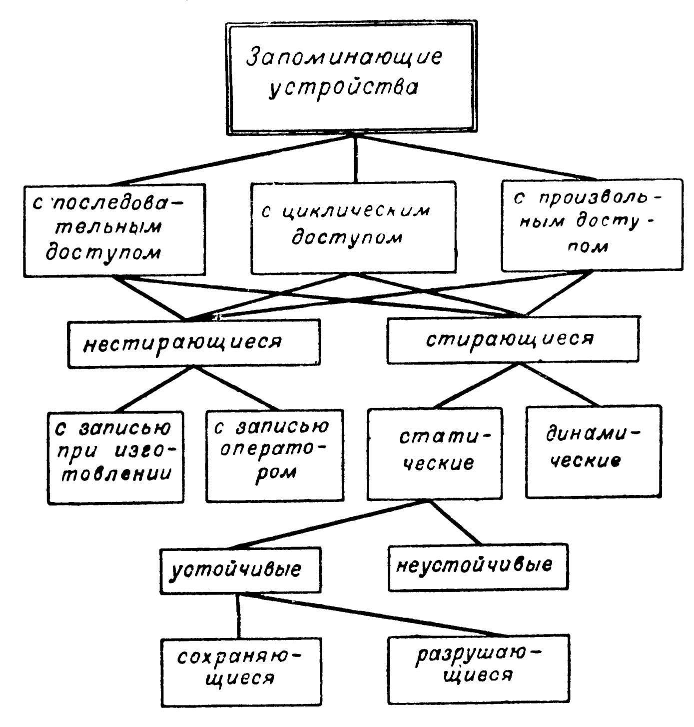


Рис. 1. Схема классификации запоминающих устройств.

доступом (например, на перфорированной ленте или на магнитной ленте), в которых запись или считывание информации можно осуществлять лишь в некоторой последовательности, определяемой необходимостью перемотки ленты; б) ЗУ с циклическим доступом (например, на магнитном барабане), в которых запись или считывание в нужной ячейке возможны периодически, через определенные, зависящие от цикла работы ЗУ (например, времени оборота барабана) промежутки времени, и в) ЗУ с произвольным доступом или равнодоступные, допускающие в любой момент считывание или запись в любой ячейке.

По признаку кратности использования ЗУ разделяются на нестирающиеся, или однократного действия, и стирающиеся, или многократного действия. Нестирающиеся ЗУ допускают только однократную запись информации с последующим многократным ее считыванием, как, например, перфорированная лента. Стирающиеся ЗУ допускают сколь угодно большое число записей, считываний, стираний и новых записей информации до естественного износа самого носителя информации. В качестве примера стирающихся можно привести ЗУ на магнитной ленте.

Нестирающиеся ЗУ или, как их еще называют, задающие ЗУ, в свою очередь, можно разбить на две группы: ЗУ с записью при изготовлении и ЗУ с записью оператором. Как пример первой группы нестирающихся ЗУ можно привести диодную матрицу с постоянной распайкой диодов в узлах (описание см. ниже в гл. 2), примером второй группы является ЗУ на перфоленте.

Стирающиеся ЗУ нашли наиболее широкое применение в современной технике хранения информации.

Все стирающиеся ЗУ можно подразделить на статические и динамические. В статических ЗУ информация в течение всего времени хранения остается неподвижной по отношению к носителю информации (релейные ЗУ, электростатические ЗУ на электронно-лучевых трубках, ЗУ на магнитной ленте и др.). В динамических ЗУ информация находится в непрерывном движении относительно своего носителя. Во всех применяемых в настоящее время динамических ЗУ информация циркулирует по замкнутому тракту, в качестве основного элемента которого используются различные линии задержки. В определенных местах тракта делаются ответвления к записывающему и считывающему устройствам, и, следовательно, информация может быть записана или считана только 1 раз за каждый

цикл своего обращения. Таким образом, все динамические устройства являются в то же время и циклическими — допускающими однократную запись и чтение за цикл. Циклическими могут быть, впрочем, и статические ЗУ, например магнитный барабан.

Статические ЗУ разделяются на устойчивые — сохраняющие информацию в условиях нормальной эксплуатации сколь угодно долго (ламповые, полупроводниковые и другие триггеры, ферритовые сердечники и т. д.) и неустойчивые — требующие периодического восстановления или регенерации, в которых информация постепенно самопроизвольно теряется, как, например, в запоминающих электронно-лучевых трубках вследствие растекания зарядов.

Наконец, устойчивые ЗУ, в свою очередь, можно разделить на сохраняющиеся, в которых информация сохраняется и при выключении источников питания (например, магнитные ЗУ), и разрушающиеся, в которых прекращение подачи питания вызывает разрушение хранящейся информации (например, ламповые и полупроводниковые триггеры).

Отметим, что все динамические ЗУ относятся к группе разрушающихся.

С точки зрения специфики использования ЗУ в электронных вычислительных машинах, где они нашли наибольшее применение, все ЗУ условно разбиваются на следующие большие группы:

1. ЗУ входных и выходных блоков машины, являющиеся как бы связующим промежуточным звеном между машиной и внешней средой. В качестве таких ЗУ чаще всего применяются нестирающиеся ЗУ с записью при эксплуатации, например перфоленты и перфокарты.

2. ЗУ для хранения постоянных чисел и коэффициентов. Для этой цели применяются нестирающиеся ЗУ с записью при изготовлении, например диодные матричные ЗУ с постоянной распайкой диодов в узлах матрицы.

3. Внешние или долговременные ЗУ, предназначенные для длительного хранения большого количества информации, измеряемой десятками или сотнями тысяч чисел. Во внешних ЗУ фиксируется обычно вся вводимая в машину информация, которая затем используется постепенно в процессе решения задачи. Внешние ЗУ в машинах часто называют внешними накопителями. Учитывая большую емкость внешних ЗУ, к ним во избежание слишком сложных и дорогих конструкций не предъявляют особенно высоких тре-

бований в отношении скоростей записи и считывания. Наиболее часто в качестве внешних ЗУ применяют магнитную ленту.

4. Внутренние, или оперативные ЗУ, непосредственно связанные с арифметическим устройством и используемые для запоминания промежуточных результатов вычислений и той информации, взятой из внешнего накопителя, которая необходима для производства текущих вычислений. Емкость внутренней памяти машины может ограничиваться несколькими сотнями или тысячами чисел. Так как скорость работы всей вычислительной машины в основном определяется скоростью работы внутреннего ЗУ, то важнейшим требованием, предъявляемым к нему, является максимальное быстродействие. В современных машинах время, необходимое для записи и считывания информации во внутренних ЗУ, составляет десятки или даже единицы микросекунд. Наибольшее распространение в качестве оперативных ЗУ в последнее время получают устройства на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса.

5. Промежуточные, или буферные ЗУ служат для хранения информации, считываемой из внешнего ЗУ, которая наиболее часто требуется для решения задачи и должна быть передана в оперативное ЗУ быстрее, чем это может быть сделано непосредственно из внешнего накопителя.

Буферные ЗУ рассчитываются на емкость, среднюю между емкостью внешних и внутренних ЗУ (обычно порядка нескольких тысяч чисел), и по своему быстродействию занимают также промежуточное место (время выборки данных порядка десятков миллисекунд). Во многих машинах буферные ЗУ отсутствуют. Чаще всего в качестве буферных ЗУ применяются магнитные барабаны.

Для создания ЗУ может быть использовано неограниченное многообразие физико-химических явлений, связанных с изменениями под влиянием внешних воздействий состояния той или иной системы и возможностью более или менее длительного устойчивого сохранения и распознавания этого изменившегося состояния.

В последующих главах книги приводится описание принципов, на которых основано устройство различных ЗУ, соответствующих структур, схем и конструкций ЗУ, дается сравнительная оценка их свойств и показателей и приводятся примеры конкретного использования их в различных установках.

При этом рассматриваются далеко не все возможные варианты ЗУ, а лишь те из них, которые либо уже находят широкое применение в настоящее время, либо являются перспективными с точки зрения возможностей их использования в будущем.

ГЛАВА ВТОРАЯ
НЕСТИРАЮЩИЕСЯ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

4. ПЕРФОКАРТЫ И ПЕРФОЛЕНТЫ

Запоминающие устройства на перфорированных картах и перфорированных лентах применяются в качестве промежуточного звена между оператором и машиной и предназначаются для автоматизации процессов ввода исходных данных и программы вычислений в машину и вывода результата вычислений из машины.

Перфокарты уже давно находят широкое применение в счетно-аналитических машинах, часто называемых также счетно-перфорационными машинами. В блоках этих машин используются принципы точной механики и электромеханики, и лишь в последних образцах счетно-аналитических машин начинают использоваться электронные элементы.

В качестве ЗУ для ввода данных в быстродействующие электронные вычислительные машины перфокарты применялись главным образом в ранних образцах машин — в американской машине «ЭНИАК», некоторых машинах фирмы «ИБМ», советской машине «Стрела». Впрочем, и в наиболее современных электронных машинах, особенно предназначенных для обработки всевозможного статистического материала, результатов переписи, данных о грузообороте и т. п., часто оказывается удобным применять для ввода перфокарты, заготовленные в разное время и даже в различных географических пунктах и затем доставленные по почте или переданные (реперфорированные) по каналам связи. Для ускорения ввода в машину эти данные могут предварительно с перфокарт перезаписываться на магнитную ленту и уже с последней вводиться в машину.

Стандартная перфокарта (рис. 2) представляет собой картонный прямоугольник шириной 187,4 *мм*, высотой 82,5 *мм* и толщиной 0,18 *мм*. Левый верхний угол карты обрезан для удобства операций подбора, укладки и т. д. По ширине перфокарта разбивается на 45 или 80 колонок,

1 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80

00000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000

11111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111

222222222222222222222222222222□22□2222222222222222222222222222222222222222222222

33333333333333333333333333333333□33333333333333333333333333333333333333333333333

44444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444444

55555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555555

66666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666

7777777777777777777777777777777□777777777777777777777777777777777777777777777777

88888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888888

1 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80

99999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999

Рис. 2. Стандартная 80 колонная перфокарта.

а по высоте содержит десять рядов, каждый из которых предназначается для записи одной из десяти цифр.

Каждый разряд числа записывается в отдельной колонке в виде пробивки в ней соответствующей цифры. Таким образом, если мы, например, хотим записать в колонках № 31—34 четырехзначное число 2732, то нужно в 31-й колонке пробить цифру 2, в 32-й — цифру 7, в 33-й — цифру 3 и в 34-й — цифру 2.

Пробивка отверстий в картах производится на так называемом перфораторе, представляющем собой устройство с цифровой клавиатурой и связанными с клавишами пуансонами, пробивающими отверстия. В современных перфораторах пуансоны чаще всего работают от электромагнитов, управляемых клавиатурой. Перфорация карт осуществляется в большинстве случаев вручную оператором, считывающим данные из таблиц или других первичных документов. Существуют и автоматические перфораторы, предназначенные для размножения подготовленных оператором перфокарт, перезаписи информации на перфокарты с перфоленты или магнитной ленты и т. д.

Скорость ручной заготовки перфокарт определяется квалификацией оператора и составляет до 1—2 знаков в секунду, при автоматической реперфорации достигнута максимальная скорость около сотни знаков в секунду. Для считывания записанной на картах или лентах информации могут применяться различные способы: механический, электрический контактный, электрический емкостный и фотоэлектрический. В счетно-аналитических машинах наибольшее распространение получил электрический контактный способ, при котором перемещающаяся перфокарта как бы ощупывается металлическими щеточками, замыкающими соответствующие электрические цепи через пробитые отверстия. При этом скорость считывания не превышает примерно 100 знаков в секунду.

При фотоэлектрическом считывании луч от источника света проходит через отверстия в карте или ленте и попадает на фотоэлементы, дающие импульсы электрического тока. При этом может быть достигнута скорость считывания порядка тысяч знаков в секунду.

Закладка карт в машину производится в виде массивов или колод. При этом достоинством перфокарт является возможность подборки их в колоде в любом порядке и, следовательно, возможность ввода информации в машину в любой желательной последовательности.

По сравнению с перфолентой перфокарты обладают рядом недостатков. Плотность записи информации на перфокартах достигает лишь около 0,5 знака на 1 *см*², в то время как на перфоленте — до 1,5—2 знаков на 1 *см*². Перфорационные и считывающие устройства для перфокарт значительно сложнее по своей механической конструкции, так как наряду с поступательным движением каждой карты необходимо еще осуществлять выборку следующей карты из колоды и сбрасывание уже считанной карты. При использовании же перфолент последним необходимо сообщать только поступательное движение. Следовательно,

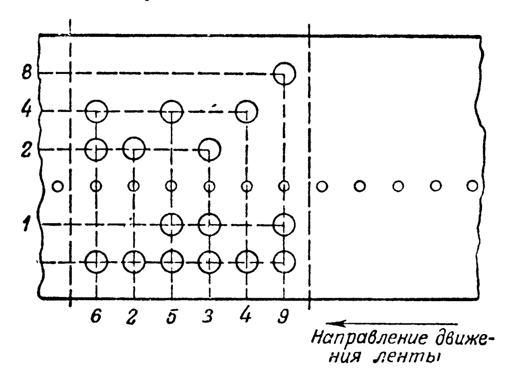


Рис. 3. Перфолента для ввода данных.

устройства с перфокартами и дороже и требуют более сложной регулировки. Все эти соображения и приводят к тому, что в настоящее время в качестве промежуточного ЗУ для ввода исходных данных и программы работы в электронные вычислительные машины и другие устройства автоматизации наибольшее применение находит перфолента.

Для ввода данных в машины используется стандартная бумажная телеграфная лента с пятью основными дорожками (рис. 3). Шестая дорожка на ленте является ведущей, при помощи которой лента передвигается зубчатым колесом во время перфорации. При считывании с ленты для ее продвижения также могут применяться зубчатые колеса, но чаще используются нажимные валики, обеспечивающие большую механическую сохранность ленты при значительно больших скоростях ее протягивания. Числа при вводе в машину могут кодироваться в различных системах счисления. Чаще всего используется так называе-

мая двоично-кодированная десятичная система, в которой за основание, как и в обычной системе, принимается число 10, но каждая десятичная цифра кодируется по двоичной системе. Так, например, десятичное число 625349 в двоично-десятичном коде будет иметь вид: 0110, 0010, 0101, 0011, 0100, 1001, где 0110 — двоичный код цифры 6, 0010 — двоичный код цифры 2 и т. д. На рис. 3 на ограниченном пунктирами участке ленты пробит код именно этого числа 625349. Наличие пробивок на первой снизу дорожке указывает на применение двоично-десятичной системы кодирования, пробивки на второй дорожке соответствуют наличию в коде числа единиц, на третьей — наличию двоек, на четвертой — четверок и на пятой — восьмерок. Таким образом, наличие в последнем ряду отверстий на пятой и второй дорожках соответствует двоичному коду цифры 9, состоящей из восьмерки и единицы.

Во избежание ошибок при вводе задач в машину рекомендуется изготовление перфоленты дважды (желательно двумя операторами) с последующим сличением обеих лент на специальном контрольно-считывающем устройстве. В случае несовпадения перфораций на лентах это устройство останавливает ленту и дает сигнал оператору о наличии ошибки. Тогда место несовпадения проверяется простым осмотром и, если на одной из лент отсутствует нужное отверстие, производится пробивка его вручную, а если оказывается лишнее отверстие, то оно заклеивается. В случае необходимости исправления целых участков ленты приходится ленту разрезать, удалять или вставлять соответствующие отрезки и вновь склеивать их.

При необходимости многократного повторного ввода одних и тех же данных конец перфоленты может склеиваться с ее началом, образуя бесконечную петлю (замкнутую ленту).

Срок службы перфоленты зависит от способов считывания, качества лентопротяжного механизма и возникающих при движении ленты ускорений. Хотя срок службы бумажных лент и невелик, но применение автоматических реперфораторов позволяет быстро и почти без затрат человеческого труда изготовлять копии перфолент для замены ими износившихся экземпляров.

Бумажные перфоленты получили самое широкое распространение для ввода, а в некоторых случаях и для вывода данных в зарубежных и отечественных электронных вы-

числительных машинах. В частности, с помощью перфолент вводится информация в машины БЭСМ, М-2, М-3 и др. Широко используются перфоленты в системах автоматического телеграфирования, когда записанная в перфораторе определенным, чаще всего пятизначным, кодом буквенная и цифровая информация передается затем в линию специальным трансмиттером, считывающим информацию с ленты и преобразующим ее в последовательность электрических импульсов. За последние годы в нашей стране и за рубежом создан целый ряд систем автоматического программного управления металлообрабатывающими станками. В этих системах программа обработки изделия задается перфолентой, которая пропускается через читающее устройство командоаппарата, управляющего рабочими органами станка.

В некоторых случаях вместо бумажной ленты применяется непрозрачная кинопленка стандартной ширины 35 *мм*. В частности, такая перфолента применяется для ввода информации в серийно выпускаемой отечественной промышленностью машине «Урал». В этом случае перфорация производится на 11 дорожках, из которых девять предназначаются для записи чисел, закодированных по двоично-десятичной системе, десятая дорожка — для записи знака числа и одиннадцатая — для маркерных пробивок, сигнализирующих начало нового числа.

5. МАТРИЧНЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ

В ряде случаев в вычислительных и управляющих машинах, в устройствах и схемах автоматики и экспериментальных исследовательских установках возникает необходимость хранения некоторых постоянных величин, данных, признаков для сортировки и т. д. Для этих целей хранения постоянной информации широко применяются матричные ЗУ, представляющие собой матричные схемы, образованные пересекающимися рядами проводов — шинами, соединенными между собой в точках пересечения (узлах матрицы) через сопротивления, конденсаторы или вентили.

На рис. 4 для примера изображена схема простейшего матричного ЗУ на вентилях, так называемой диодной сетки, с емкостью хранения в шесть восьмиразрядных двоичных чисел. Ячейками памяти в данной схеме являются шесть горизонтальных шин, а выходами для считывания чисел — восемь вертикальных шин (по одной для каждого

разряда считываемого числа). Наличие на вертикальной шине положительного потенциала соответствует считыванию знака 1, а отсутствие напряжения — знака 0.

Для считывания числа, хранящегося в ячейке № 1, нужно при помощи коммутатора *К* подать положительное напряжение на первую горизонтальную шину. Тогда на выходах *1*, *2*, *5* и *8* появится положительное напряжение, что соответствует считыванию числа 11001001. При подаче напряжения на вторую шину будет считано хранящееся в ячейке № 2 число 10010011 и т. д.

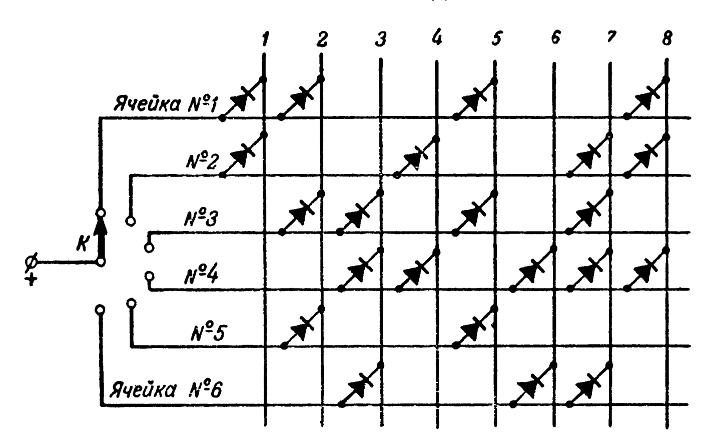


Рис. 4. Схема диодно-матричного запоминающего устройства.

ЗУ такого типа просты, надежны, экономичны, постоянны и позволяют осуществлять очень быстрое считывание информации (микросекунды или даже доли микросекунд). Конечно, для того чтобы практически реализовать большие скорости считывания, необходимо осуществлять выбор нужной ячейки (горизонтальной шины) не механическим контактным коммутатором, а использовать бесконтактную электронную коммутационную схему.

Однако такие ЗУ могут применяться лишь для хранения постоянных коэффициентов, команд, программ.

В качестве одного из примеров применения диодного матричного ЗУ укажем на использование в программном блоке машины для автоматического вождения электропоездов — автомашиниста. Этот программный блок содержит десять кассет с записанной в них постоянной программой. Каждая кассета имеет 16×55 шин

Широкое применение получили диодно-матричные сетки в качестве основных элементов шифраторов и дешифраторов. В этом случае они хранят в себе постоянную программу для перевода, например, чисел из одной системы счисления в другую, для кодирования числовым кодом букв алфавита и т. д.

Соединение вертикальных и горизонтальных шин матрицы в узлах не непосредственно, а через диоды имеет целью предупредить паразитный переход напряжений с одной шины на другую. В случае включения в узлах матрицы вместо вентилей конденсаторов или активных сопротивлений необходимо так рассчитывать элементы схем, чтобы избежать ошибок при считывании информации за счет возможных паразитных переходов.

Запись информации в таких ЗУ производится чаще всего в виде соответствующей распайки соединительных элементов в узлах матрицы при изготовлении ЗУ. Однако в процессе эксплуатации возможно и изменение хранимых данных путем перепайки элементов. Наконец, возможно штепсельное включение соединительных элементов оператором. Для этого в местах пересечения шин, выполненных в виде металлических полосок, в них должны быть высверлены приходящиеся друг против друга отверстия.

6. ФОТОСКОПИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Применение фотографических методов позволяет создавать малогабаритные ЗУ очень большой емкости. Это обусловливается весьма высокими качествами фотографических эмульсий с высокой разрешающей способностью. Современные пленки для черно-белых изображений дают возможность различить до 100 отдельных элементов (точек) на 1 *мм*. У лучших специальных материалов эта величина достигает 1 000 элементов на 1 *мм*. Таким образом, принципиально может быть достигнута плотность записи постоянной информации до 10^6 *дв. ед./мм*^{2}.

Если бы практически оказалось возможным реализовать надежную запись и считывание при такой высокой плотности, то информацию, заключающуюся во всех когда-либо напечатанных книгах, можно было бы хранить в фотографическом ЗУ объемом всего в несколько кубических метров.

Однако, если даже снизить плотность записи ради удобства считывания и повышения надежности ЗУ на несколько порядков, то и при этом условии можно достиг-

нуть плотности порядка сотен или тысяч *дв. ед./см*², что во много раз выше наибольшей плотности записи на магнитной ленте, достигающей в лучшем случае 1—2 *дв. ед./мм*².

Следует отметить также, что скорость считывания никак не зависит от свойств фотографического носителя информации и определяется лишь временем, необходимым для усиления считываемых импульсов.

Наиболее приемлемыми конструктивными решениями фотоскопических ЗУ является применение движущейся киноленты или вращающегося диска с записанной на них информацией.

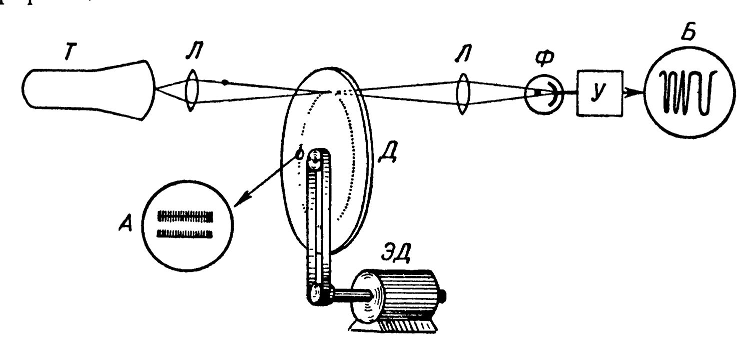


Рис. 5. Фотоскопическое дисковое запоминающее устройство.
Т — электронно-лучевая трубка; *Д* — фотоскопический диск; *Ф* — фотоэлемент; *У* — усилитель; *Л* — оптические линзы; *ЭД* — электродвигатель; в круге *А* — участок диска в увеличенном виде; в круге *Б* — форма выходного сигнала.

На рис. 5 схематически изображено экспериментальное ЗУ в виде фотоскопического диска, предназначенного для хранения постоянной информации. На прозрачном диске *Д* диаметром около 30 *см*, который вращается при помощи электродвигателя *ЭД*, нанесен слой фотоэмульсии с большой разрешающей способностью. Информация записывается на диске в виде вертикальных штрихов. В круге *А* в увеличенном виде показан небольшой участок диска с тремя дорожками штриховой записи. Для считывания информации световой луч от экрана электронно-лучевой трубки *Т* направляется через линзу на нужную дорожку. Когда благодаря вращению диска на пути луча окажется участок с требуемой информацией, она считывается фотоэлементом *Ф*, усиливается усилителем *У*, и на выходе системы получается импульсное напряжение, форма которого показана в круге *Б*.

Фотоскопические ЗУ в виде комбинации с менее емкими, но более гибкими стирающимися ЗУ, используемыми в качестве буферных устройств, найдут, вероятно, в будущем применение в информационных машинах с большим объемом памяти.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОГО ТИПА

7. СТРУКТУРА РЕЛЕЙНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Реле различного типа находят очень широкое применение для создания так называемых регистров — запоминающих устройств на одно число. Особенно простой и надежно действующей оказывается схема регистра, предназначенного для запоминания двоичных чисел, когда каждый разряд числа может быть зафиксирован одним двухпозиционным реле.

Предположим, что мы хотим записать в релейном регистре четырехразрядное двоичное число 1101 (что соответствует десятичному числу 13). Для этой цели необходимо, чтобы регистр содержал четыре реле, которые после срабатывания оставались бы в рабочем состоянии до тех пор, пока они не будут возвращены в начальное состояние в результате специального воздействия. Кроме того, нужно, чтобы эти реле в зависимости от своего состояния управляли знаком или величиной токов или напряжений, что обеспечивает считывание зафиксированной в них информации. В нашем примере в результате воздействия на реле регистра импульсами кода числа 1101 должны сработать первое, второе и четвертое реле, а третье реле должно оставаться в начальном состоянии. Таким образом осуществится запись числа в регистре.

Полученное в результате записи состояние регистра должно сохраняться до тех пор, пока на него не будет оказано соответствующее внешнее воздействие, которое приведет все реле в начальное состояние (гашение регистра). Наконец, каждое из реле, находящихся в рабочем состоянии, своими контактами должно включать во внешнюю цепь (цепь считывания) некоторое напряжение, что обеспечивает считывание хранящейся в регистре информации. Считывание может осуществляться либо при сохранении

рабочего состояния регистра, либо одновременно с его гашением.

Регистры могут строиться по принципу параллельного или последовательного действия. Релейный регистр параллельного действия, предназначенный для запоминания n-разрядных чисел, изображен на рис. 6. Он содержит n реле, к каждому из которых через вход записи подводится электрический импульс, характеризующий один разряд числа. Каждое реле имеет также свой выход, на который выдается импульс считывания данного разряда. Кроме того, имеется общий для всех реле вход гашения, предназначенный для освобождения регистра, т. е. стирания хранящейся в нем информации.

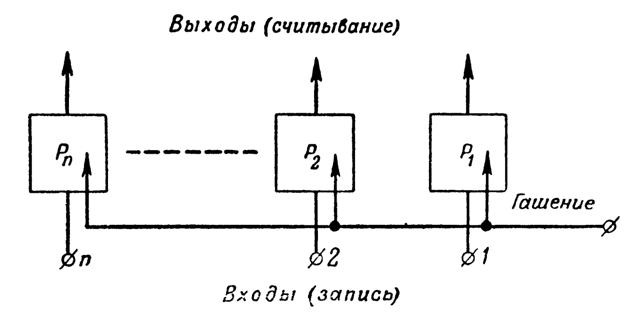


Рис. 6. Релейный регистр параллельного действия.

Регистр параллельного действия позволяет производить запись или считывание многоразрядного числа за один такт работы устройства, т. е. обеспечивает большую скорость работы ЗУ и связанных с ним других устройств, например арифметических устройств вычислительной машины. Однако при этом значительно усложняется и удорожается схема, так как количество входов в регистр и выходов из него должно быть равно количеству разрядов двоичного числа (практически 30—40 разрядов).

Поэтому в тех случаях, когда не требуется большое быстродействие устройств, применяются регистры последовательного действия, в которые числа вводятся поразрядно. При этом запись или считывание числа из n-разрядного регистра требует времени, равного n тактам устройства.

Блок-схема регистра последовательного действия приведена на рис. 7. Здесь изображен n-разрядный регистр, состоящий из n реле, причем вход каждого из них соеди-

нен с выходом предшествующего реле через элемент задержки $З$, задерживающий электрический импульс на некоторое время τ.

Регистр имеет один общий вход и один общий выход для поразрядного ввода и вывода чисел. Кроме того, имеется цепь, ответвления от которой поступают на все реле регистра. В эту цепь подаются так называемые продвигающие импульсы — импульсы, следующие друг за другом с той же частотой, что и основные импульсы, несущие информацию. При поступлении продвигающего импульса в любое реле оно выдает содержащуюся в нем информа-

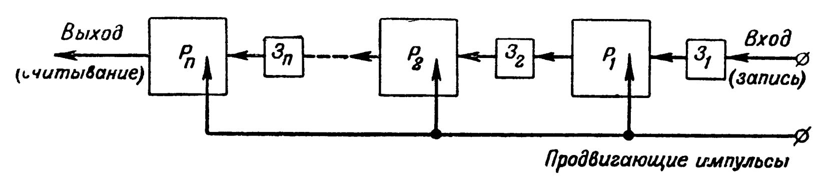


Рис. 7. Релейный регистр последовательного действия.

цию, т. е. выдает импульс, если оно находилось в рабочем состоянии, и не выдает импульса, если находилось в начальном состоянии. Само реле при этом переходит в начальное состояние.

На рис. 8 изображены: вверху — последовательность кодовых импульсов на входе системы при записи числа 1101 (импульсы на графике расположены в обратном порядке, так как ввод и вывод чисел обычно начинаются с младших разрядов и заканчиваются старшими разрядами), а внизу — последовательность продвигающих импульсов.

Предположим, что в начальный момент t_0 все реле регистра находились в начальном состоянии. Следовательно, в момент t_1 продвигающие импульсы ничего не изменят в состоянии реле регистра, а на вход регистра поступит первый кодовый импульс. Через промежуток времени τ этот импульс попадет на P_1 и в момент $t_1+\tau$ переведет его из начального в рабочее состояние.

В момент t_2 следующий продвигающий импульс возвратит реле P_1 в начальное состояние, причем оно выдаст импульс, который в момент $t_2+\tau$, пройдя через элемент $З_2$, воздействует на реле P_2 и переведет его в рабочее состояние.

В момент t_3 продвигающий импульс возвратит реле P_2 в начальное состояние, а выданный им при этом импульс

в момент $t_3+\tau$, после задержки в элементе $З_3$ переведет в рабочее состояние P_3. Кроме того, в тот же момент $t_3+\tau$ в рабочее состояние перейдет и реле P_1 под воздействием поступившего на вход регистра в момент t_3 кодового импульса.

Наконец, в момент t_4 продвигающие импульсы возвратят в начальное состояние реле P_3 и P_1, выданные ими импульсы в момент $t_4+\tau$ переведут в рабочее состояние реле

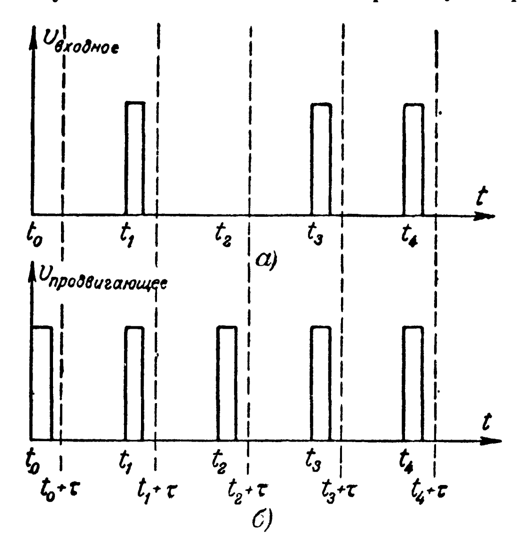


Рис. 8. Последовательность кодовых (а) и продвигающих (б) импульсов в регистре последовательного действия.

Момент времени	Реле			
	P_4	P_3	P_2	P_1
t_0				
$t_1+\tau$				▨
$t_2+\tau$			▨	
$t_3+\tau$		▨		▨
$t_4+\tau$	▨		▨	▨
$t_5+\tau$		▨	▨	
$t_6+\tau$	▨	▨		
$t_7+\tau$	▨			
$t_8+\tau$				

Рис. 9. Последовательность состояний реле регистра.

P_4 и P_2, а реле P_1 перейдет в рабочее состояние под воздействием поступившего на вход в момент t_4 очередного кодового импульса. Таким образом, к моменту времени $t_4+\tau$ все число 1101 окажется зафиксированным в регистре.

При считывании, продолжая подачу на все реле регистра продвигающих импульсов, мы будем как бы проталкивать записанное число к выходу регистра, в результате чего на выходе получим кодовую комбинацию импульсов, соответствующую хранившемуся в регистре числу. На рис. 9 показана последовательность состояний четырехразрядного регистра при записи числа 1101. Рабочие состояния реле при этом изображены заштрихованными, а на-

чальные — белыми клетками. Из рисунка видно, что ввод и вывод четырехразрядного числа занимает по четыре такта работы устройства.

Кроме описанных регистров параллельного и последовательного действия, возможны и регистры смешанного действия. Так, в случае, когда регистрация может производиться довольно медленно, а считывание должно происходить быстро, можно применить регистр последовательно-параллельного действия с одним входом и количеством выходов, равным числу разрядов. Наоборот, при необходимости быстрой регистрации числа и допустимости его медленного поразрядного считывания применим регистр параллельно-последовательного действия с количеством входов, равным числу разрядов, и одним общим выходом.

В качестве элементов релейных ЗУ можно использовать любые реле. Рассмотрим наиболее важные с точки зрения использования их в регистрах ЗУ реле: электромагнитные, электронно-ламповые, полупроводниковые, на газоразрядных приборах и, наконец, на криотронах.

8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Простейшее электромагнитное реле представляет собой железный сердечник с намотанной на нем катушкой, под действием магнитного поля которой перемещается якорь, замыкающий или размыкающий контакты электрической цепи. В обычном реле после прекращения входного сигнала катушка обесточивается, причем якорь и контакты под действием пружины возвращаются в начальное положение. Для использования в ЗУ реле снабжаются устройствами механической или электрической блокировки, которые держат якорь и контакты реле в рабочем состоянии до тех пор, пока на реле не поступит специальный сигнал, возвращающий их в первоначальное положение.

Такие контактные электромагнитные, или, как их еще называют, электромеханические реле широко применялись в ранних типах вычислительных машин. Например, построенная в 1947 г. машина МАРК-II (США) содержит около 13 000 электромеханических реле, работающих на постоянном токе с напряжением питания 100 *в* и потреблением мощности около 6 *вт* каждое. Время срабатывания этих реле 6 — 10 *мсек*. Из этих реле около 5 тыс. снабжены механическими защелками и используются во внутренней памяти машины. Объем, необходимый для создания ЗУ на элек-

тромеханических реле, составляет около 20—40 *см*³ на 1 *дв. ед.*

Существуют специальные скоростные электромеханические реле со временем срабатывания 2—3 *мсек*. Однако при таких больших скоростях работы реле могут управлять лишь одной-двумя цепями и, кроме того, надежность их заметно снижается.

Достоинствами электромеханических реле являются: во-первых, способность обеспечивать так называемое полное переключение, когда при замкнутых контактах сопротивление контактного промежутка практически равно нулю, а при разомкнутых — бесконечности, и, во-вторых, возможность управления достаточно большими токами.

Однако такие серьезные недостатки, как ограниченная скорость срабатывания, малая надежность, обусловленная возможностью нарушения контактов вследствие их обгорания, окисления или загрязнения, чувствительность к вибрациям, большой расход энергии и громоздкость заставили почти полностью отказаться от применения электромеханических реле в блоках памяти современных быстродействующих машин.

ЗУ в различных устройствах автоматики, телемеханики и связи также все чаще строятся сейчас на других, более надежных запоминающих элементах.

В заключение следует упомянуть о возможности использования в относительно медленно действующих ЗУ так называемых бесконтактных магнитных реле с двумя устойчивыми состояниями, представляющих собой магнитные усилители, работающие в релейном режиме.

Бесконтактные магнитные реле имеют неограниченный срок службы, более надежны вследствие отсутствия подвижных частей и контактов, обладают высокой чувствительностью и не боятся вибрации. Однако вследствие низкого к. п. д., значительной инерционности и больших габаритов они могут найти лишь ограниченное применение в качестве ЗУ в некоторых устройствах промышленной автоматики.

9. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПОВЫЕ РЕЛЕ (ТРИГГЕРЫ)

Применение электронных ламп позволило построить бесконтактные электронные реле со скоростью работы, превышающей скорость работы электромеханических реле в тысячи и десятки тысяч раз.

Простейшее электронное реле представляет собой так называемую электронную спусковую схему, или триггер, с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Существует большое количество различных вариантов схем триггеров. Рассмотрим один из простейших вариантов схемы триггера на двух вакуумных триодах (рис. 10). Эта схема является симметричным двухламповым усилителем с положительной обратной связью. Казалось бы, что при полной

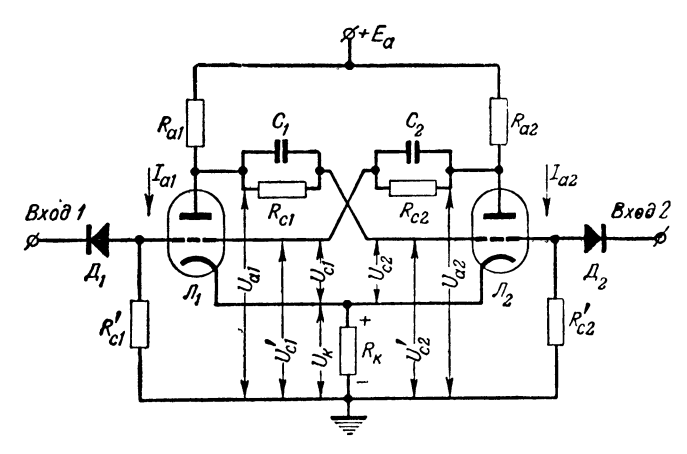


Рис. 10. Схема триггера на вакуумных триодах.

симметрии всех элементов этой схемы токи I_{a1} и I_{a2} в обеих лампах будут одинаковы и схема будет находиться в состоянии равновесия.

Однако практически в таком равновесном состоянии эта схема находиться не может. Она обязательно переходит в одно из устойчивых состояний, при котором ток в одной из ламп достигает максимальной величины, а во второй лампе падает до минимального значения. Этот процесс происходит следующим образом.

Пусть ток I_{a1} в первой лампе возрос хотя бы на очень небольшую величину. При этом немедленно увеличится падение напряжения на сопротивлении R_{a1}, а это, в свою очередь, вызовет уменьшение напряжения U_{a1} на аноде первой лампы. Но напряжение U_{c2} между сеткой и катодом второй лампы складывается из отрицательного падения напряжения $U_к$ на сопротивлении $R_к$ и положительного падения напряжения U'_{c2} на сопротивлении R'_{c2}, при-

чем $U'_{c2} = U_{a1}\dfrac{R'_{c2}}{R_{c1}+R'_{c2}}$. Следовательно, уменьшение напряжения U_{a1} приведет к снижению потенциала сетки U_{c2} второй лампы, а значит, и к уменьшению ее анодного тока I_{a2}.

С уменьшением тока I_{a2} уменьшится и падение напряжения на сопротивлении R_{a2}, включенном в анодную цепь второй лампы, а значит повысится напряжение U_{a2} на ее аноде, что, в свою очередь, вызовет повышение потенциала U_{c1} сетки первой лампы, складывающегося из отрицательного падения напряжения $U_{к}$ и положительного падения напряжения U'_{c1}, причем $U'_{c1} = U_{a2}\dfrac{R'_{c1}}{R_{c2}+R'_{c1}}$. Но повышение потенциала U_{c1} приведет к дальнейшему увеличению тока I_{a1} (а именно с этого началась цепь наших рассуждений), к снижению U_{a1}, уменьшению тока I_{a2} и т. д.

При надлежащем сочетании элементов схемы процесс будет происходить лавинообразно, и в течение очень короткого промежутка времени, порядка нескольких микросекунд или даже менее микросекунды, триггер достигнет устойчивого состояния электрического равновесия. При этом ток I_{a1} в первой лампе достигнет максимальной величины, а вторая лампа окажется запертой отрицательным напряжением на сетке $U_{c2} = -U_{к} + U'_{c2}$. Такое устойчивое состояние будет сохраняться сколь угодно долго, пока на вход *1* не будет подан отрицательный импульс напряжения, который приведет к резкому снижению анодного тока I_{a1}, уменьшению падения напряжения на R_{a1} и увеличению напряжений U_{a1}, U'_{c2} и U_{c2}. Это вызовет отпирание второй лампы, появление в ней анодного тока I_{a2}, увеличение падения напряжения на R_{a2}, снижение U_{a2}, U'_{c1} и U_{c1}. Следовательно, произойдет дальнейшее снижение тока I_{a1} и, в конце концов, в результате развития лавинообразного процесса триггер перейдет в новое состояние устойчивого равновесия, при котором первая лампа запрется, а анодный ток второй лампы достигнет максимального значения. Снова возвратить схему в началь-

ное положение можно подачей отрицательного импульса через второй вход на сетку второй лампы.

Конденсаторы C_1 и C_2, шунтирующие сопротивления R_{c1} и R_{c2}, служат для ускорения переброски триггера из одного состояния в другое.

Практически триггер собирается не на отдельных лампах, а на двух половинах одного двойного триода или пентода.

Внесем теперь в рассмотренную нами схему триггера некоторые дополнения, чтобы приспособить его для ис-

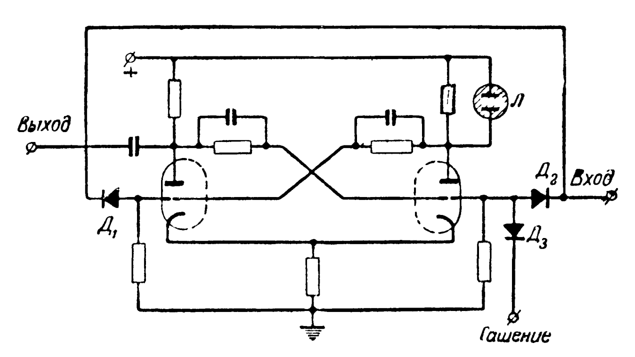


Рис. 11. Схема триггера как элемента регистра.

пользования в качестве элемента регистра ЗУ (рис. 11). Соединением обоих входов между собой образуем общий вход и, кроме того, для гашения триггера сделаем еще один вход, который через вентиль $Д_3$ соединим с сеткой второй лампы. Сделаем также через конденсатор отвод от анода первой лампы и назовем его выходом триггера. Наконец, параллельно сопротивлению R_{a2} подключим индикаторную неоновую лампочку, которая будет гореть лишь в том случае, если на сопротивлении R_{a2} имеется достаточное падение напряжения, т. е. если лампа $Л_2$ открыта.

Условимся считать, что начальным состоянием триггера, соответствующим записи символа «0», является такое состояние, когда лампа $Л_1$ открыта, а лампа $Л_2$ — заперта. Рабочим состоянием, соответствующим записи в триггере символа «1», будем считать состояние, когда заперта лампа $Л_1$, а лампа $Л_2$ открыта. При этом горение неоновой лампы будет сигнализировать, что триггер находится в рабочем состоянии.

Переброска триггера из одного устойчивого состояния в другое осуществляется подачей на общий вход отрицательного импульса. Этот импульс, попадая на сетки обеих ламп, не оказывает никакого воздействия на уже запертую отрицательным сеточным напряжением лампу, но в то же время снижает ток в открытой лампе. В результате этого развивается лавинообразный процесс, который в конечном счете приводит к переброске триггера в другое устойчивое положение. Так как при переходе из начального состояния в рабочее потенциал на аноде первой лампы резко повышается, то на выходе триггера при этом получается положительный импульс. При переходе же из рабочего состояния в начальное происходит резкое уменьшение потенциала U_{a1} и триггер выдает на выходе отрицательный импульс.

При подаче отрицательного импульса на вход гашения, он попадает только на сетку второй лампы, так как вентиль $Д_2$ не пропускает его к сетке первой лампы. Следовательно, если триггер при этом находился в начальном состоянии, то его состояние не изменяется, а если он находился в рабочем состоянии, то происходит переброска его в начальное состояние.

Теперь представим себе, что на месте реле P_1, P_2, ..., P_n в регистрах, изображенных на рис. 6 и 7, стоят описанные триггеры. Если мы проследим работу всей схемы в целом, то убедимся, что как параллельный, так и последовательный регистры будут успешно выполнять функции накопления, хранения и выдачи информации.

При этом для записи на входы регистров нужно подавать код числа в виде отрицательных импульсов.

Как уже отмечалось, применение в регистрах ламповых триггеров позволяет создавать быстродействующие ЗУ. Однако эти ЗУ, как и при использовании электромеханических реле, остаются громоздкими и малоэкономичными (из-за расхода энергии на накал катодов лампы). Кроме того, помимо ламп, образующих триггерные ячейки, требуется примерно столько же ламп для построения управляющих цепей. Поэтому, учитывая, что срок службы ламп ограничен, надежность ЗУ большой емкости на ламповых триггерах оказывается недостаточной из-за частых выходов из строя отдельных ламп.

Поэтому ЗУ большой емкости на ламповых триггерах не строятся, а применение их оказывается целесообразным

лишь при построении регистров для запоминания одного или нескольких чисел.

Значительно более экономичны, надежны и имеют меньшие габариты ЗУ на триггерах с транзисторами.

10. ТРИГГЕРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Для построения схем триггеров можно использовать как точечные, так и плоскостные транзисторы.

На рис. 12 изображена простая схема с двумя устойчивыми состояниями на одном точечном транзисторе T. Описание работы схемы начнем с момента, когда транзистор заперт отрицательным напряжением смещения $E_э$, поданным на его эмиттер. Однако при этом в цепи коллектора

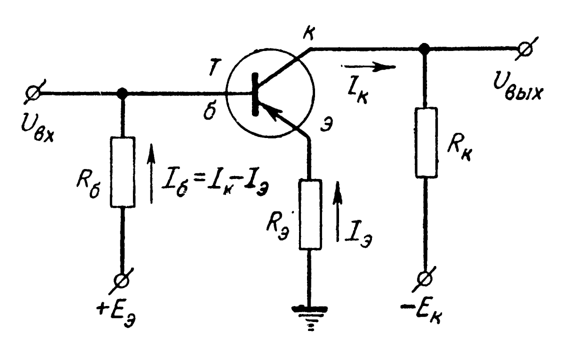


Рис. 12. Схема триггера на точечном транзисторе.

все же проходит некоторый очень малый ток $I_{к0}$, который создает на сопротивлении $R_б$ небольшое падение напряжения $I_{к0}R_б$, меньшее, чем напряжение смещения $E_э$. Поэтому напряжение на эмиттере, равное разности $E_э$ и $I_{к0}R_0$, остается отрицательным. Таким образом, начальное состояние схемы характеризуется тем, что $I_э=0$, $I_б=I_{к0}$ и $|E_э|>I_{к0}R_б$.

Если подать на вход схемы отрицательный импульс, что равносильно подаче положительного импульса на эмиттер, то транзистор откроется, появится ток эмиттера $I_э$, а это приведет к увеличению тока коллектора $I_к$ и росту падения напряжения на сопротивлении $R_б$. Следует отметить, что прирост тока коллектора будет больше, чем прирост тока эмиттера, так как коэффициент усиления

транзистора по току $\alpha_i = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э}$ больше единицы. В результате напряжение на эмиттере станет положительным, что еще более увеличит ток эмиттера, а значит, и ток коллектора. Этот процесс будет нарастать лавинообразно до тех пор, пока ток коллектора не достигнет насыщения. Благодаря положительной обратной связи это новое рабочее состояние триггера будет устойчиво сохраняться сколь угодно долго после окончания входного импульса.

Для возвращения триггера из рабочего состояния в первоначальное на вход его нужно подать положительный импульс, который будет играть роль импульса гашения.

Так как в начальном состоянии ток коллектора очень мал, а значит мало и падение напряжения на $R_к$, то на выходе будет иметь место почти полное отрицательное напряжение. При переходе в рабочее состояние ток коллектора сильно возрастает, увеличивается падение напряжения на $R_к$, и отрицательное напряжение на выходе становится значительно меньше по абсолютной величине. Это значит, что при переходе из начального состояния в рабочее на выходе появляется положительный импульс напряжения. Соответственно переход из рабочего состояния в начальное сопровождается возникновением на выходе отрицательного импульса напряжения.

Из сказанного видно, что рассмотренный нами триггер на точечном транзисторе отвечает всем требованиям, предъявляемым к реле, используемым в ЗУ. Он реагирует на входной импульс, запоминает его в виде устойчиво сохраняющегося рабочего состояния, может быть возвращен в начальное состояние гасящим импульсом и, наконец, при переходе из одного состояния в другое выдает на выход импульсы, которые можно использовать как сигналы считывания.

Большей надежностью отличаются триггерные ячейки на плоскостных транзисторах, имеющих более стабильные рабочие характеристики и меньшее сопротивление в открытом состоянии. На рис. 13 изображена схема триггера одной из вычислительных машин. Работа каждой из его половин весьма сходна с работой триггера на одном транзисторе, описанного выше. В то же время, как и в ламповом триггере, отпирание одного из транзисторов благодаря наличию связи между их цепями создает условия для запирания другого, и наоборот.

Управляющие сигналы могут подаваться как отдельно на каждую половину триггера через входы «1» и «0», так и на общий вход. В последнем случае триггер перебрасывается всегда в новое состояние по сравнению с тем, в каком он находился до поступления сигнала.

При подаче положительного импульса на вход «1» транзистор T_1 запирается, а в транзисторе T_2 устанавливается

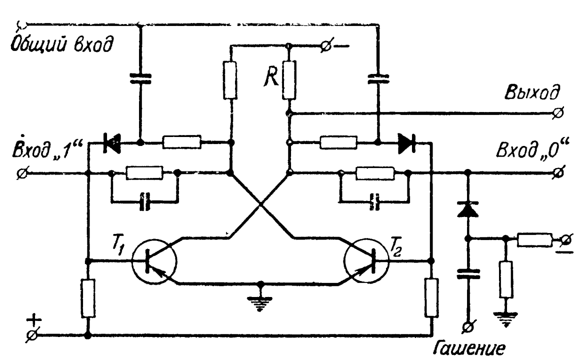


Рис. 13. Схема триггера на плоскостных транзисторах.

максимальный ток. Такое положение триггера условимся считать рабочим. При этом на выходе имеет место высокий отрицательный потенциал, который можно использовать как сигнал считывания. При подаче положительного импульса на вход «0» или на вход гашения триггер переходит в начальное положение, при котором транзистор T_2 заперт, ток в транзисторе T_1 максимальный, и вследствие падения напряжения на сопротивлении R, созданного большим коллекторным током транзистора T_1, отрицательный потенциал на выходе будет мал.

11. ТРИГГЕРЫ НА ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРАХ

Для создания счетчиков и регистров в схемах автоматики и телемеханики и в различных установках для научных исследований применяются часто триггеры на газоразрядных приборах.

На рис. 14 приведена схема тиратронного триггера. Подобно ламповому триггеру в этой схеме всегда проводит ток только один из тиратронов. Пусть в начальном состоянии это будет первый тиратрон. Тогда вследствие малой величины сопротивления зажженного тиратрона почти все

анодное напряжение будет падать на сопротивлении R_{a1}, а на аноде незажженного тиратрона $Л_2$ будет полное анодное напряжение E_a. Следовательно, и конденсатор C будет заряжен до напряжения E_a.

Если на общий вход триггера поступит положительный импульс, то он никак не воздействует на уже работающий тиратрон $Л_1$, сетка которого после зажигания потеряла свое управляющее действие, и зажжет тиратрон $Л_2$. Потенциал на аноде вспыхнувшего тиратрона резко снизится, и конденсатор C начнет разряжаться по цепи, включающей вспыхнувший тиратрон $Л_2$, источник анодного питания

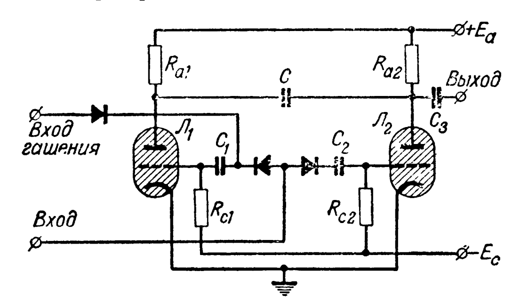


Рис. 14. Схема триггера на тиратронах.

и сопротивление R_{a1}. Так как при этом напряжение конденсатора оказывается подключенным параллельно тиратрону $Л_1$ отрицательным полюсом к его аноду, то тиратрон $Л_1$ гаснет и устанавливается новое, рабочее состояние триггера. В этом состоянии проводит ток тиратрон $Л_2$, а тиратрон $Л_1$ заперт. Следующим положительным импульсом можно перевести триггер опять в начальное состояние и т. д. Для гашения триггера можно предусмотреть специальный вход гашения, положительный импульс с которого будет попадать на сетку только первого тиратрона, зажигать его и, следовательно, всегда возвращать триггер в начальное состояние. Изменение потенциала на аноде тиратрона $Л_2$ через конденсатор C_3 подается на выход и создает сигнал считывания информации.

Достоинством тиратронного триггера является возможность получения достаточно больших выходных сигналов, так как анодный ток тиратронов значительно превышает анодный ток вакуумных ламп. Однако из-за относительной медленности процессов деионизации в газоразрядных при-

борах схемы на тиратронах значительно уступают схемам на вакуумных лампах и на полупроводниковых приборах по скорости срабатывания. Время срабатывания тиратронного триггера измеряется сотнями микросекунд или даже миллисекундами.

Еще одним недостатком триггеров на тиратронах, как, впрочем, и на вакуумных лампах, являются их неэкономичность вследствие значительных затрат энергии на нагрев катодов, а также ограниченный срок службы и возможность выхода из строя ламп из-за перегорания нити накала.

С этой точки зрения значительный интерес представляют триггеры на безнакальных тиратронах, получающие

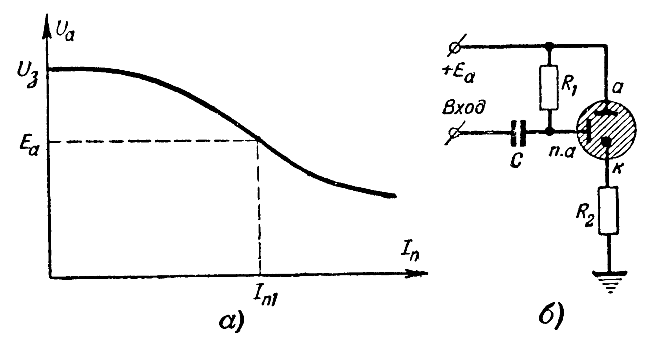


Рис. 15. Безнакальный тиратрон.
а — характеристика; *б* — схема включения.

все большее распространение в качестве элементов регистров.

Безнакальный тиратрон, или тиратрон с холодным катодом, представляет собой небольшую (диаметром 10 *мм* и высотой 35 *мм*) трехэлектродную лампу, наполненную разреженным неоном под давлением около 10 *мм рт. ст.* Катодом лампы является цилиндр с кислородно-цезиевым покрытием внутренней поверхности. Анод представляет отрезок проволоки, заключенный в стеклянной трубке и зачищенный от стекла лишь с торца. Третьим электродом, который носит название пускового анода, служит диск, помещенный между катодом и анодом.

На характеристике зажигания (пусковой характеристике), приведенной на рис. 15,*а*, $U_з$ представляет собой потенциал на основном аноде, необходимый для зажигания лампы при отключенном пусковом аноде. Если подать на анод тиратрона в изображенной на рис. 15,*б* типовой схеме

включения безнакального тиратрона анодное напряжение $E_а < U_в$, то, как видно из характеристики, лампа не вспыхнет до тех пор, пока ток $I_п$ через пусковой анод не достигнет величины $I_{п1}$. Ток $I_п$ в цепи пусковой анод—катод ограничен большим сопротивлением R_1. Благодаря этому $I_п < I_{п1}$, зажигание не происходит и лампа находится в состоянии тихого (темного) разряда. При подаче на вход положительного импульса лампа вспыхивает и при соответственно выбранном не слишком большом сопротивлении

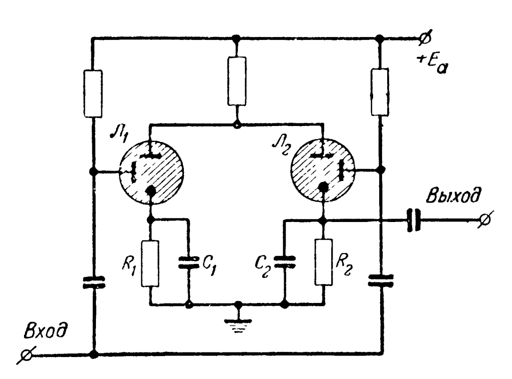


Рис. 16. Схема триггера на безнакальных тиратронах.

R_2 (порядка нескольких десятков килоом) остается в зажженном состоянии — в режиме нормального тлеющего разряда.

Схема триггера на безнакальных тиратронах приведена на рис. 16. Работает эта схема следующим образом. Пусть в начальном состоянии горел первый тиратрон $Л_1$. При этом конденсатор C_1 был заряжен до величины падения напряжения, создаваемого проходящим по сопротивлению R_1 рабочим током. При поступлении на пусковые аноды тиратронов управляющего положительного импульса возрастает пусковой ток второго тиратрона, отчего он вспыхивает.

Но так как в первый момент (пока не зарядится конденсатор C_2) разность потенциалов между анодами ламп и землей устанавливается равной падению напряжения на тиратроне, а конденсатор C_1 был заряжен, то на тиратроне $Л_1$ напряжение оказывается ниже необходимого для поддержания горения и он гаснет. Аналогично при подаче

следующего управляющего импульса опять происходит переброска триггера из рабочего положения в начальное.

Выходной сигнал можно получить с отвода от сопротивлений R_1 или R_2.

В счетных устройствах для физических исследований за последние годы все большее применение получают специальные газоразрядные счетные лампы, отличающиеся экономичностью, простотой схемы и большим сроком службы. Используются эти лампы в некоторых случаях и в установках промышленной электроники и блоках памяти вычислительных устройств.

В большинстве случаев выпускаемые промышленностью газоразрядные счетные лампы предназначаются для счета в десятичной системе счисления, и поэтому они получили название декатронов. Декатроны содержат анод и три катодных кольца, изолированных друг от друга. На каждом кольце расположено по десять штырьков, просматривающихся сквозь стекло баллона. Один из катодов является основным или индикаторным, а два других — так называемыми переносящими катодами или подкатодами.

Принцип действия декатрона заключается в переносе свечения последовательно с одного индикаторного штырька на последующий по мере поступления в схему отсчитываемых (запоминаемых) импульсов. Штырьки подкатодов играют роль промежуточных звеньев, как бы пусковых электродов, осуществляющих местную подготовку зоны разреженного газа у следующего штырька индикаторного катода.

Отечественной промышленностью выпускаются декатроны двух типов (ЕГ1 и ЕГ2).

12. КРИОГЕННЫЕ ПРИБОРЫ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Криогенными приборами (от греческого слова «криос» — холод) называют приборы, работающие в условиях глубокого охлаждения — при температурах, близких к абсолютному нулю. При таких низких температурах, как известно, у ряда элементов и некоторых сплавов наблюдается явление сверхпроводимости, заключающееся в скачкообразном исчезновении электрического сопротивления при охлаждении ниже определенной, так называемой критической температуры. Если в кольце из сверхпроводящего металла возбудить ток, то он будет, не затухая, протекать

в кольце в течение неопределенно долгого промежутка времени.

Интересно отметить, что сверхпроводимость при охлаждении появляется у металлов, которые в нормальных условиях являются не очень хорошими проводниками, тогда как, например, медь, серебро и золото этим свойством не обладают. Для некоторых металлов явление сверхпроводимости наступает при следующих значениях критических температур (в градусах выше абсолютного нуля, т. е. по шкале Кельвина): ртуть — 4,12° К, свинец — 7,26° К, алюминий — 1,18° К, тантал — 4,38° К, ниобий — 8,0° К.

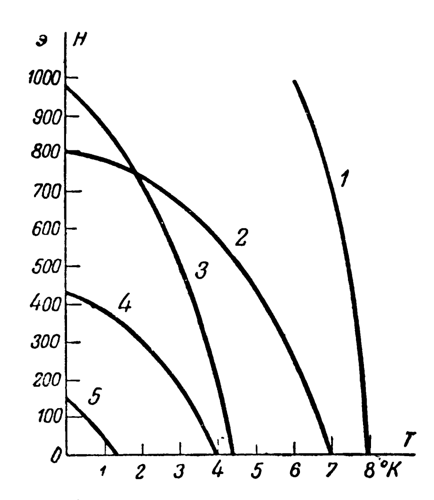


Рис. 17. Зависимость порогового магнитного поля от температуры для некоторых сверхпроводников. *1* — ниобий; *2* — свинец; *3*—тантал; *4*—ртуть; *5* — алюминий.

Однако даже при температуре ниже критической состояние сверхпроводимости может быть разрушено внешним магнитным полем, если его напряжение достигнет некоторой достаточной величины $H_к$, которая называется критическим или пороговым магнитным полем. Кривые зависимости критического магнитного поля от температуры для некоторых сверхпроводников приведены на рис. 17.

Описанные явления и положены в основу созданного в 1955 г. сверхпроводникового прибора, получившего название криотрона, в котором используется возможность управления состоянием сверхпроводимости с помощью магнитного поля.

Простейший криотрон (рис. 18,*а*) состоит из танталового стержня длиной около 2,5 *см* и диаметром около 0,3 *мм* с однослойной обмоткой из изолированной ниобиевой проволоки диаметром 0,1 *мм*. Плотность намотки — до 100 витков на 1 *см*. Прибор помещен в криостат, в котором поддерживается температура 4,2° К. При этом как тантал, так и ниобий находятся в сверхпроводящем состоянии. Однако, если пропустить по обмотке ток порядка

200—300 *ма*, то созданное им магнитное поле с напряженностью около 40 *э* вызовет скачкообразный переход тантала из состояния сверхпроводимости в состояние нормальной проводимости, причем сопротивление танталового стержня мгновенно изменится от нуля до некоторой конечной величины. Так как критическая температура ниобия значительно выше, то ниобиевая обмотка останется в сверхпроводящем состоянии. В криотроне центральный танталовый стержень как бы аналогичен анодной цепи электронной лампы, а управляющая обмотка — цепи управляющей сетки. В отличие от электронной лампы направление токов в обеих цепях криотрона не имеет значения для его работы.

На рис. 18,*б* изображена схема простейшего элемента с двумя устойчивыми состояниями равновесия, собранно-

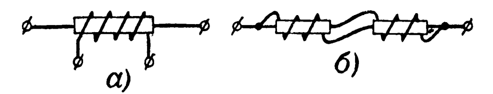


Рис. 18. Схемы простейшего криотрона (*а*) и криотронного триггера (*б*).

го на двух криотронах,— криотронного триггера. В этой схеме для тока имеются два параллельных пути, каждый из которых включает обмотку одного и стержень другого криотрона. Казалось бы, подводимый ток должен разветвиться поровну между обеими параллельными ветвями. Однако наличие тока в одной из ветвей, например в ветви, состоящей из стержня первого криотрона и обмотки второго, переведет стержень второго криотрона в состояние нормальной проводимости, сопротивление этой ветви станет конечным и, следовательно, практически весь ток будет продолжать протекать по первой ветви.

Для того чтобы перевести криотронный триггер в другое устойчивое состояние, нужно тем или иным способом перевести снова в состояние сверхпроводимости стержень второго криотрона и разрушить сверхпроводимость стержня первого. Тогда произойдет перераспределение токов в цепях триггера, которое будет устойчиво сохраняться до нового воздействия извне.

На рис. 19 показана схема управляемой запоминающей ячейки, собранной на шести криотронах. Такая ячейка может быть использована в качестве элемента криогенного ЗУ.

На схеме стержни соответствующих криотронов обозначены c_1, c_2,..., c_6, а их обмотки — o_1, o_2,..., o_6. На входы «0» и «1» подаются импульсы записи соответственно нуля и единицы. Токи считывания получаются на выходах «0» и «1».

По схеме непрерывно протекает основной ток питания I, который замыкается по одной из двух параллельных ветвей. Пусть ток I замыкается по цепи $c_2 - c_4 - o_3 - o_5$. Прохождение тока через обмотки o_3 и o_5 разрушает сверх-

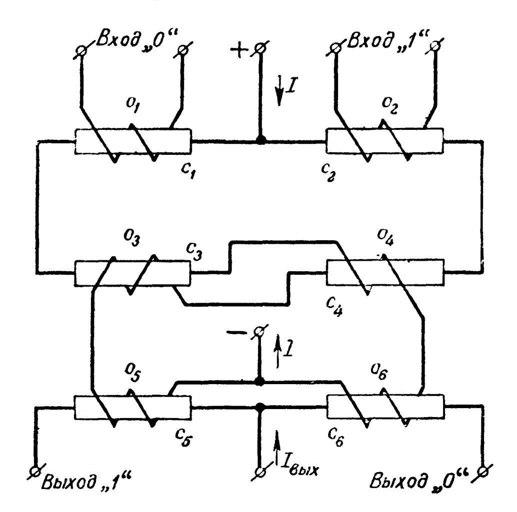


Рис. 19. Схема запоминающей ячейки на криотронах.

проводимость стержней c_3 и c_5, в результате чего по цепи c_1, c_3, o_4 и o_6 ток протекать не будет. Такое состояние схемы, соответствующее записи «0», будет без внешнего воздействия устойчиво сохраняться сколь угодно долго При этом стержень c_5 имеет нормальное конечное сопротивление, а c_6 находится в сверхпроводящем состоянии. Следовательно, при подаче импульса тока считывания $I_{вых}$ он попадает через стержень c_6 на выход «0».

Для изменения состояния схемы нужно подать импульс на ее вход «1». При этом разрушится сверхпроводимость стержня c_2, оба направления для тока I станут равновозможными, и он разветвится пополам. Значение тока $I/2$ меньше критического, и, следовательно, стержни всех остальных криотронов окажутся в сверхпроводящем со-

стоянии. Но так как импульс записи еще продолжает удерживать стержень c_2 в состоянии нормальной проводимости, то ток I теперь полностью замкнется по ветви $c_1 - c_3 - o_4 - o_6$. При этом разрушится сверхпроводимость стержней c_4 и c_6 и в результате даже после прекращения записи «1» ток по цепи $c_2 - c_4 - o_3 - o_5$ протекать не будет.

В этом устойчивом состоянии схемы, соответствующем записи «1», c_5 находится в сверхпроводящем состоянии, а c_6 имеет конечное сопротивление. Следовательно, импульс тока считывания попадает через стержень c_5 на выход «1».

Криотроны как элементы схем просты, дешевы, имеют малые размеры и изготовляются из доступных материалов. Благодаря тому, что токи в них протекают по сверхпроводящим участкам цепей, активные потери близки к нулю. Все это позволяет создавать ЗУ большой емкости при размерах порядка десятков кубических дециметров и мощности питания порядка долей ватта. Правда, при этом не учитываются размеры и мощность охладителя, в котором используется жидкий гелий, и остального вспомогательного оборудования. Поэтому, естественно, конструктивно и экономически применение криотронных ЗУ может быть оправдано лишь при достаточно большой их емкости, когда суммарная экономия на питании отдельных элементов превышает расходы на криогенную установку и вспомогательное оборудование.

Время срабатывания криотронного триггера порядка десятков микросекунд хотя и значительно меньше, чем у электромеханического реле, но заметно превышает время срабатывания ламповых и полупроводниковых триггеров. Поэтому описанные триггеры на криотронах, по-видимому, найдут в ЗУ лишь ограниченное применение, особенно если учесть, что в последние годы разработаны новые быстродействующие простые и экономичные криогенные элементы, основанные на явлении сохранения однажды возбужденного тока в сверхпроводнике в течение неограниченно долгого времени.

Один из типов таких криогенных элементов памяти показан на рис. 20. Он состоит из сверхпроводящего кольца, к которому в двух точках *а* и *б* подсоединены входные проводники. Для считывания служит второй (разомкнутый) виток, индуктивно связанный со сверхпроводящим кольцом. Запись нуля производится импульсом тока одно-

го направления, а запись единицы — импульсом противоположного направления.

Пусть входящий ток направлен, как изображено на рисунке. Ток I в сверхпроводящем кольце разветвится: по кратчайшему пути между точками a и $б$, т. е. по левой ветви, потечет ток I_1, а по значительно более длинному пути — по правой ветви — потечет ток I_2. Хотя активные сопротивления обеих ветвей благодаря состоянию сверхпроводимости и равны нулю, но так как индуктивность более короткого левого участка значительно меньше индуктивности правого участка, то $I_1 \gg I_2$ и практически можно считать, что $I_1 \approx I$.

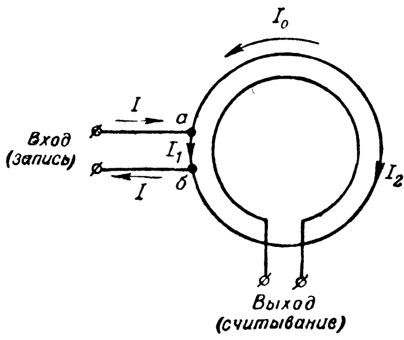


Рис. 20. Криогенный элемент памяти с разделением токов в сверхпроводящем кольце.

После окончания импульса записи в сверхпроводящем кольце, очевидно, будет продолжать сколь угодно долго циркулировать разностный остаточный ток $I_0 = I_1 - I_2 \approx I_1 \approx I$ в направлении большего тока I_1, т. е. против часовой стрелки.

Если подвести ко входу импульс тока противоположного направления, то после окончания этого импульса в кольце установится остаточный ток, направленный по часовой стрелке. Таким образом, путем изменения направления остаточного тока в элементе фиксируется запись «0» или «1».

При каждом изменении направления тока в сверхпроводящем кольце во втором витке индуктируется э. д. с., создающая на выходе импульс напряжения того или иного знака. Таким образом, производится считывание записанной информации. Так как процесс считывания, очевидно, сопровождается стиранием информации, то, если последняя должна быть сохранена, импульсы считывания нужно использовать для восстановления (регенерации) хранившейся информации.

Экспериментальные образцы таких элементов работали со временем переключения порядка 0,1 *мксек*. В криогенных элементах других конструкций достигнуто время переключения до 0,01 *мксек*.

Недостатком криогенных элементов, основанных на эффекте сохранения тока, возбужденного в проводнике, является то, что они не обладают свойством усиления тока. Поэтому сигналы, полученные от этих элементов при считывании информации, могут быть использованы для управления другими элементами лишь после предварительного усиления.

Однако, несмотря на этот недостаток, различные типы криогенных элементов найдут, по-видимому, в будущем благодаря своей экономичности и малым размерам достаточно широкое применение в быстродействующих ЗУ большой емкости.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ

13. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Магнитная запись информации находит исключительно широкое применение для создания ЗУ различного назначения. Почти во всех современных электронных вычислительных машинах применяются накопители на магнитной ленте, барабане или дисках. Используется магнитная лента также и для ввода данных в машины. На магнитной ленте часто записывается программа работы автоматизированных металлорежущих станков и других производственных агрегатов. Магнитная запись применяется для автоматического переприема телеграмм, автоматической регистрации данных научных экспериментов, телеизмерений и т. д.

Столь широкое и разнообразное использование ЗУ с магнитной записью объясняется их высокой экономичностью, надежностью, сколь угодно длительной сохранностью информации, очень большой удельной емкостью. Существенную роль сыграло также и то обстоятельство, что к моменту появления широкой потребности в запоминающих устройствах для хранения дискретной информации уже получила большое распространение магнитная запись звука, причем значительную часть схемных и конструктивных решений удалось с незначительными изменениями использовать для хранения дискретной информации.

Физической основой магнитной записи является способность ферромагнитных материалов сохранять состояние остаточного намагничивания, соответствующего создаваемой при записи напряженности магнитного поля.

В качестве носителя информации при магнитной записи на первых этапах использовались стальные проволоки или ленты. В настоящее время для этой цели применяется тонкий слой лака, содержащий мельчайшие частицы ферромагнитного порошка. Этот слой лака наносится на ленту

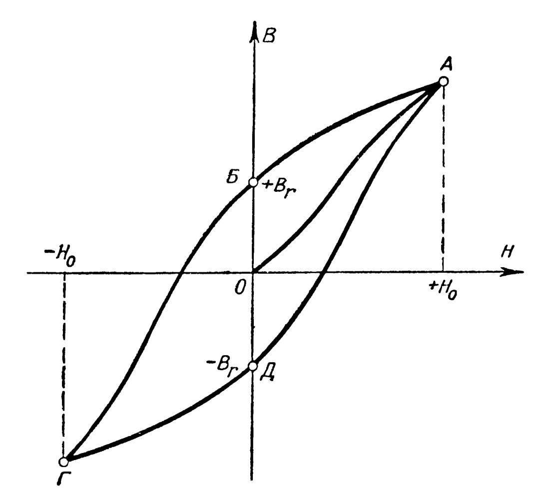


Рис. 21. Петля гистерезиса ферромагнитного материала.

(магнитная лента), цилиндрическую основу (магнитный барабан) или круглый диск (магнитный диск).

Ферромагнитный порошок состоит из мелких, размером 0,3—0,8 *мк*, кристалликов окиси железа Fe_2O_3. Толщина магнитного слоя (ферролака) колеблется в пределах 10—30 *мк*.

В последнее время все большее применение при изготовлении магнитных барабанов и дисков находят гальванические покрытия. В частности, хорошо себя зарекомендовало покрытие, состоящее из 80% кобальта и 20% никеля, наносимое гальваническим путем на тщательно очищенную поверхность барабана слоем толщиной 7—15 *мк*.

Магнитное поле, при помощи которого осуществляется запись информации, создается так называемыми магнит-

ными головками. Головка представляет собой специально сконструированный, чаще всего кольцевой с зазором, электромагнит, по обмотке которого пропускаются импульсы тока записи.

В процессе записи ферромагнитный носитель информации должен перемещаться относительно зазора записывающей головки. При этом элементарные участки носителя, проходя под зазором головки, намагничиваются соответственно величине и направлению импульсов тока записи, протекающих в данный момент по обмотке головки.

Возникшее при записи магнитное состояние сохраняется в магнитном слое вследствие явления остаточного магнетизма и после того, как элементарный участок его пройдет мимо головки.

Считывание записанной информации осуществляется перемещением магнитного носителя относительно зазора воспроизводящей (считывающей) головки, по своей конструкции аналогичной записывающей головке.

При этом часть магнитного потока элементарных намагниченных участков замыкается через сердечник головки, и изменение этого потока во времени наводит э. д. с. в ее обмотке.

Для пояснения процессов записи рассмотрим изображенную на рис. 21 петлю гистерезиса магнитного материала, характеризующую происходящие в нем при намагничивании и перемагничивании процессы.

Ненамагниченное состояние материала характеризуется точкой O. Если приложить к материалу положительную напряженность поля $+H_0$, то его состояние будет характеризоваться точкой A, а после прекращения действия напряженности поля состояние материала будет характеризоваться точкой $Б$, т. е. он сохранит остаточную магнитную индукцию $+B_r$. Для перемагничивания материала к нему нужно приложить отрицательную напряженность $-H_0$, после прекращения действия которой состояние материала будет характеризоваться точкой $Д$, соответствующей остаточной магнитной индукции $-B_r$.

Если условно приписать, например, состоянию положительной намагниченности нулевое значение, а состоянию отрицательной намагниченности — единичное значение, то каждый элементарный участок магнитного слоя будет представлять собой запоминающую ячейку с двумя устойчивыми состояниями — «0» и «1».

Можно приписать также значение «0» ненамагниченному состоянию носителя и значение «1» — намагниченному его состоянию.

Запись информации может осуществляться тремя различными способами:

1) запись по двум уровням с промежутками между знаками;

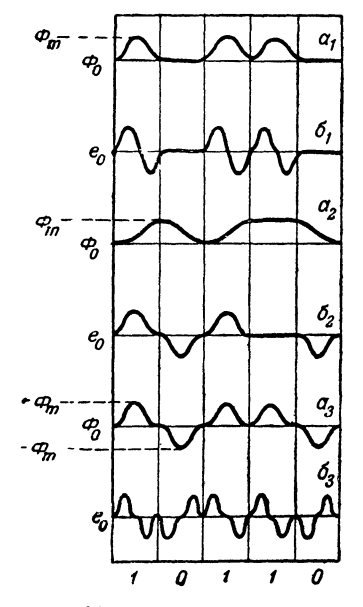


Рис. 22. Кривые изменения магнитного потока и э. д. с. в считывающей головке.

2) запись по двум уровням без промежутков между знаками;

3) запись по трем уровням.

На рис. 22 представлены кривые изменения потока в сердечнике считывающей головки и кривые э. д. с., наводимой в ее обмотке при записи двоичного числа 10110, осуществленной каждым из трех способов. При первом способе записи поток в сердечнике (кривая a_1) либо остается на уровне Φ_0, соответствующем „0" или отсутствию сигнала, либо достигает уровня Φ_m, соответствующего „1". Этот график приблизительно совпадает с кривой интенсивности продольного намагничивания материала носителя. Уровни Φ_0 и Φ_m могут соответствовать насыщению материала в положительном и отрицательном направлениях или размагниченному состоянию и насыщению материала в одном из направлений.

Электродвижущая сила, наводимая в этом случае в обмотке при считывании, представлена кривой $б_1$. Каждому импульсу изменения магнитного потока, очевидно, соответствуют два импульса э. д. с. — импульс одного направления при нарастании потока и импульс противоположного направления при убывании потока.

При втором способе — записи без промежутков между знаками — магнитное состояние носителя, а следовательно, и поток в считывающей головке (кривая a_2) изменяются от одного уровня к другому лишь в том случае, если следующий знак записи отличается от предшествующего.

Электродвижущая сила в обмотке считывающей головки при этом (кривая $б_2$) имеет вид импульса одного направления при переходе от «1» к «0» и импульса другого направления — при переходе от «0» к «1». Если же следующий кодовый знак является повторением предшествующего («0» после «0» или «1» после «1»), то магнитный поток в головке не изменяется и, следовательно, в обмотке при этом э. д. с. не индуктируется. При такой системе записи несколько усложняется расшифровка результатов считывания, но зато почти вдвое увеличивается возможная плотность записи и, значит, при той же скорости движения носителя относительно головки примерно вдвое увеличивается скорость считывания информации.

Оба описанных способа записи по двум уровням обладают тем недостатком, что при наличии только двух возможных состояний носителя отсутствие записи информации обязательно должно изображаться так же, как и запись одного из двоичных знаков. При этом в некоторых случаях значительно снижается надежность работы ЗУ и уменьшается достоверность считываемой информации.

Недостаток этот устраняется при системе записи по трем уровням, когда различные знаки информации обозначаются сигналами различной полярности, а отсутствие сигнала указывает на то, что данная ячейка вообще свободна от информации.

При такой записи материал должен предварительно размагничиваться убывающим по амплитуде переменным полем и затем «1» записывается путем насыщения участка магнитного носителя в одном направлении, а «0» — насыщением участка в противоположном направлении. Изменения магнитного потока и э. д. с. в обмотке считывающей головки при записи по этому способу характеризуются кривыми $а_3$ и $б_3$ на рис. 22.

В зависимости от условий работы ЗУ и предъявляемых к ним требований в различных устройствах хранения информации с магнитной записью может применяться любой из трех описанных способов записи.

14. КОНСТРУКЦИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ

Магнитные головки. Устройство магнитных головок весьма различно и зависит от типа и конструкции носителя информации и способа записи. Существуют однополюсные, двухполюсные, многополюсные, кольцевые головки. В со-

временных ЗУ с магнитной записью почти исключительно используется продольная запись кольцевыми магнитными головками. Такая головка имеет кольцевой сердечник, состоящий из тонких изолированных ферромагнитных пластин. На сердечнике наматывается одна или две обмотки.

В кольцевой головке для записи и считывания сердечник имеет узкий зазор с высоким магнитным сопротивлением. При прохождении тока по обмотке в области зазора возникает сильное магнитное поле, вызывающее намагничивание соответствующих участков магнитного носителя.

При считывании во время прохождения носителя мимо зазора сердечника в нем образуется переменный магнитный поток, которым в обмотках головки индуктируется э. д. с., создающая на выходе импульсы считывания.

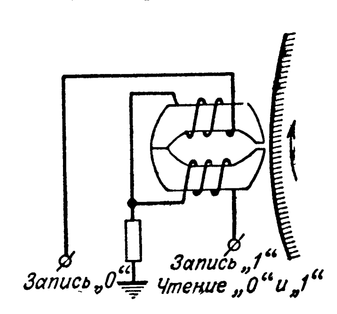


Рис. 23. Записывающая и считывающая головка.

У стирающих головок зазор делается значительно бо́льшим, причем стирание осуществляется обычно достаточно сильным вначале и постепенно убывающим до нуля переменным током.

На рис. 23 схематически изображена головка для записи и считывания, применяемая в ЗУ на магнитном барабане электронной вычислительной машины М-2, в котором используется метод записи по трем уровням. Магнитопровод этой головки состоит из двух имеющих форму буквы «С» половин, набранных из листового пермаллоя. На каждой половине намотана обмотка, состоящая из 300 витков провода ПЭЛШО 0,9 *мм*. Одна обмотка служит для записи «0», а вторая — для записи «1» и считывания.

Обмотки намотаны таким образом, что они создают противоположно направленные м. д. с. Поэтому запись как «0», так и «1» производится однополярными импульсами, направляемыми в ту или другую обмотку.

Зазор в головке у поверхности магнитного носителя образуется прокладкой из латунной фольги толщиной 0,02 *мм*.

ЗУ на магнитной ленте. Исключительно широкое применение в ЗУ с магнитной записью находит в качестве носителя информации магнитная лента или пленка. В частности, ЗУ на магнитной ленте применяются почти во всех

электронных машинах в качестве внешних накопителей информации с большой емкостью, а в некоторых случаях и в качестве быстродействующих устройств для ввода данных в машину. Лента представляет собой эластичную основу из ацетилцеллюлозы, триацетата, поливинилхлорида или других подобных веществ, на которую нанесен слой лака, содержащий по объему 30—45% мельчайшего ферромагнитного порошка.

В ЗУ часто применяется стандартная магнитная лента типа 1. Она представляет собой узкую ацетилцеллюлозную основу шириной 6,5 *мм* и толщиной около 45 *мк* с нанесенным на нее слоем ферролака толщиной около 15 *мк*. Применяется также и более широкая лента. Например, в машине «Урал» используется лента типа 1 шириной 35 *мм* и общей толщиной 120 *мк* при толщине ферромагнитного слоя около 15 *мк*. Лента используется в виде рулонов в специальных кассетах. Длина ленты в рулоне составляет обычно 500—1 000 *м*.

Запись на ленте производится в большинстве случаев на нескольких расположенных по ширине параллельных дорожках. Плотность записи на ленте составляет от 0,5 до 10 дв. ед. на 1 *мм*. Ширина дорожек составляет от 3—4 до 1 *мм*. В результате на ленте удается создавать весьма емкие ЗУ, допускающие быстрое последовательное считывание информации.

Так, например, в машине М-2 на рулоне ленты длиной 600 *м* размещается до 50 000 34-разрядных двоичных чисел. Такого же порядка и емкость хранения рулона ленты машины «Урал», вмещающего около 40 000 36-разрядных двоичных чисел.

Скорость записи и считывания в ЗУ на магнитной ленте определяется свойствами носителя, плотностью записи и допустимыми скоростями перемотки ленты. Так, в машине М-2 при скорости движения ленты 0,4 *м/сек* обеспечивается считывание со скоростью около 1 200 дв. зн. в 1 *сек*. В машине «Урал» эта скорость составляет около 2 700 дв. зн. в 1 *сек*. Наибольшая скорость считывания с магнитной ленты, достигнутая в настоящее время в американской машине НОРК, составляет около 70 000 дв. зн. в 1 *сек* при скорости продвижения ленты 4 *м/сек*.

Дальнейшее повышение скорости оказывается очень затруднительным из-за возможности обрывов ленты при пусках и остановках лентопротяжного устройства. Поэтому необходимо предпринимать специальные меры для пре-

одоления сил инерции бобин. Для этой цели в одних случаях применяют для вращения бобин тщательно подобранные сервомоторы, в других случаях используются безбобинные устройства, в которых лента с лентопротяжных роликов падает свободными витками в специальные узкие карманы.

Так как благодаря очень близкому расположению элементов записи на магнитной ленте ее невозможно пустить или остановить точно против заданной ячейки, то запись и считывание обычно производятся целыми «блоками» или «зонами» чисел. Между зонами оставляются промежутки.

При этом применяются два метода адресации блоков. Первый заключается в простом последовательном отсчитывании номеров зон вдоль длины ленты, начиная с определенного ее места. Таким образом, в машине всегда зафиксирован номер только что использованной зоны, и при получении нового адреса происходит перемотка ленты в ту или другую сторону на нужное количество зон до нахождения нужной зоны. Внутри каждой данной зоны имеется определенное количество чисел или другой информации и, таким образом, можно отыскать и считать нужное по порядку число.

Второй метод адресации ленты — запись на ней самой в закодированном виде адресов зон около каждой из них. При перемотке ленты происходят: считывание адресов, сравнение их с требуемым адресом и считывание информации из зоны при совпадении этих адресов.

Применение на одной бобине особенно длинных лент невыгодно, так как при необходимости считывания определенной зоны затрачивается много времени на перемотку ленты для ее отыскания. Так, при длине ленты 1 000 *м* и максимальной скорости ленты 4 *м/сек* нахождение нужной зоны может занимать до 4 *мин*. Этот недостаток до известной степени ликвидируется одновременным использованием нескольких лент таким образом, что пока считывается информация с одной ленты, остальные заблаговременно подводятся нужными зонами к считывающим головкам.

Важными достоинствами ЗУ на магнитных лентах являются: их неограниченная емкость, высокая экономичность (из применяемых в настоящее время ЗУ стоимость хранения каждой двоичной единицы информации на магнитной ленте самая низкая), исключительная компактность, постоянство и надежность хранения.

Основными недостатками ЗУ на магнитных лентах

является малая средняя скорость обращения (с учетом времени на отыскание нужной ячейки), а также то обстоятельство, что отыскание ячейки требует механических перемещений ленты, с которыми связана возможность ее обрывов.

ЗУ на магнитном барабане. Значительного уменьшения времени обращения к нужной ячейке ЗУ с магнитной записью можно добиться, применяя вместо ленты магнитный барабан (рис. 24). Он представляет собой вращающийся цилиндр из диамагнитного металла, чаще всего алюминия или его сплавов, с ферромагнитным покрытием толщиной 10—100 *мк*. Магнитные головки в простейшем случае располагаются в ряд по образующим барабана. Таким образом, информация записывается на дорожках, представляющих собой замкнутые параллельные окружности.

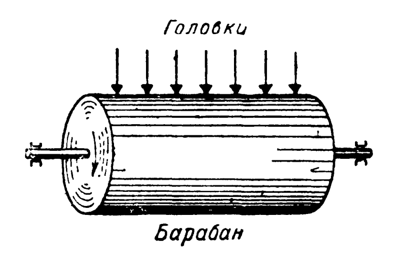


Рис. 24. Схематическое устройство запоминающего устройства на магнитном барабане.

Соседние головки расположены на таких расстояниях, что на 1 *см* длины барабана может размещаться до пяти — восьми дорожек. Плотность записи по длине дорожек в барабанах современной конструкции достигает 30—40 знаков на 1 *см*.

Диаметр барабана составляет обычно 10—30 *см*, достигая в некоторых случаях до 80 *см*. Изготовление барабанов с большим диаметром не рекомендуется, ибо при этом возрастает опасность их деформации при вращении и нагреве. Последнее обстоятельство очень важно, так как зазор между поверхностью барабана и магнитными головками составляет не более 100 *мк* и деформация барабана может привести к его выходу из строя вследствие сцарапывания магнитного слоя.

Барабаны средней величины имеют емкость порядка нескольких десятков тысяч дв. ед. Например, на магнитном барабане машины БЭСМ можно хранить 5 120 32-разрядных двоичных числа. Максимальная емкость разработанных в настоящее время магнитных барабанов достигает 1,5—2 млн. дв. ед.

Так как магнитный барабан представляет собой циклическое ЗУ, в котором любая ячейка становится доступ-

ной 1 раз за цикл, т. е. за один оборот барабана, то для ускорения записи или считывания информации желательно повышать скорость их вращения, которая составляет в среднем 2 000—3 000 *об/мин*, достигая в отдельных устройствах 20 000 *об/мин*.

При высоких скоростях вращения барабана и малых зазорах между головками и барабаном требуется весьма высокая точность его изготовления. Подшипники следует применять высокого класса точности, с тем чтобы свести к минимуму биение цилиндра.

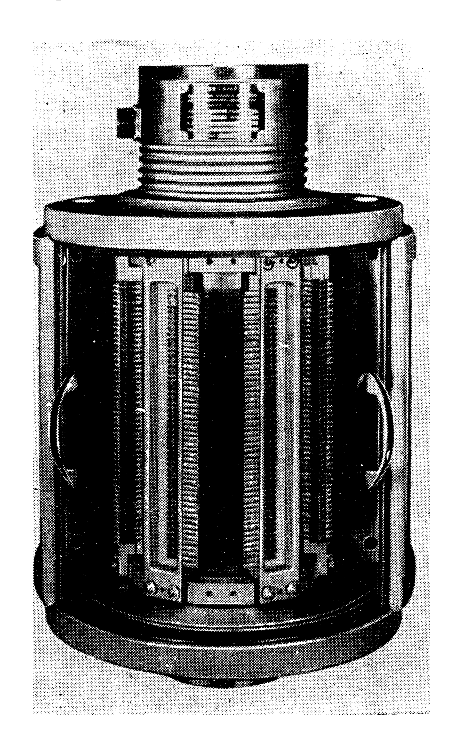


Рис. 25. Внешний вид вертикального магнитного барабана.

Барабаны изготовляются с вертикальной или горизонтальной осью вращения. На рис. 25, например, показан вертикальный барабан одной из американских фирм. Данные изображенного барабана: диаметр 125 *мм*, длина 300 *мм*, емкость 625 000 дв. ед., скорость вращения 12 000 *об/мин*. Общее количество головок 240 шт.

Так как мельчайшие пылинки, попадая под головки, могут привести к появлению царапин на магнитном покрытии барабана, то все устройство рекомендуется помещать в герметизированных кожухах. При этом хорошо сконструированный барабан может подолгу работать без ремонта. Известен, например, случай трехлетней бесперебойной работы герметизированного барабана.

Адресация ячеек памяти на барабане относительно проста, так как барабан сам является источником синхронизирующих импульсов, записанных на специальной дорожке барабана. Подобно ЗУ на магнитных лентах в

ЗУ на барабанах существуют два способа адресации. Чаще всего применяется такой способ, когда адрес определяется отсчетом позиций по окружности выбранной дорожки путем отсчета импульсов от определенной фиксированной точки, дающей маркерный импульс. При втором методе нужная ячейка находится путем чтения контрольных номеров, записанных на образующих барабана, и сличения считанного и заданного адресов. При совпадении их происходит включение соответствующей головки для записи или считывания.

Преимуществами ЗУ на магнитных барабанах являются: их высокая экономичность (наряду с магнитной лентой это самые дешевые ЗУ); надежность и простота в эксплуатации; относительная компактность, впрочем значительно меньшая, чем у ЗУ на ленте, так как внутренняя полость барабана не используется для хранения информации; постоянство и надежность хранения информации.

Недостатками ЗУ на магнитном барабане являются: ограниченная по сравнению с магнитными лентами емкость; наличие механического вращательного движения; относительно большое среднее время обращения (порядка единиц миллисекунд), определяемое временем одного оборота (хотя это время значительно меньше среднего времени обращения в ЗУ на магнитной ленте).

ЗУ на лентобарабане. Компромиссным решением вопроса о создании магнитного ЗУ с емкостью, в десятки раз превышающей максимальную емкость магнитного барабана, и при этом характеризующегося значительно меньшим по сравнению с ЗУ на магнитной ленте временем обращения, является комбинированное ЗУ на лентобарабане.

В этом ЗУ носителем информации является широкая многодорожечная магнитная лента, запись и считывание с которой осуществляются магнитными головками, расположенными на быстро вращающемся барабане. Значительное повышение скорости считывания достигается здесь, во-первых, за счет одновременного считывания с большого количества параллельных дорожек и, во-вторых, благодаря значительно большей линейной скорости головок на окружности барабана по отношению к ленте (порядка 20—30 *м/сек*), чем при протягивании ленты относительно неподвижных головок (2—4 *м/сек*).

Разработанное в одной из лабораторий США ЗУ на лентобарабане представляет собой магнитную ленту шириной до 300 *мм* и длиной от 3 до 200 *м*, огибающую барабан

диаметром 300 *мм*, вращающийся со скоростью 1 200 *об/мин*. На барабане вдоль его образующей размещено 128 магнитных головок, что позволяет вести запись и считывание на 128 параллельных дорожках. Магнитная лента разделена на зоны, длина которых несколько меньше длины полуокружности барабана. В каждой зоне может быть записано до 200 000 дв. ед. Между зонами оставлены пробелы длиной около 25 *мм*, на которых в виде прозрачных и непрозрачных участков записываются коды адресов зон.

Адреса считываются фотоэлектрической системой, управляющей движением лентопротяжного механизма, подающего нужную зону к барабану.

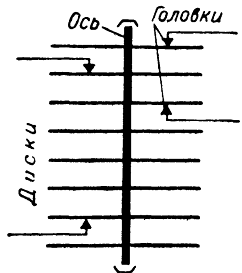


Рис. 26. Схематическое устройство запоминающего устройства на магнитных дисках.

В пределах одной зоны время обращения к нужной ячейке не превышает времени одного оборота барабана, т. е. около 50 *мсек*. Лента перемещается со скоростью около пяти зон в секунду. Для того чтобы время ожидания подачи нужной зоны к барабану не лимитировало скорости работы устройств, связанных с лентобарабаном, между ними помещается обычный магнитный барабан, играющий роль буферного или промежуточного ЗУ.

Общая емкость описанного ЗУ достигает 100 млн. дв. ед.

ЗУ на магнитных дисках. Для магнитной записи информации можно придать магнитному носителю форму диска, подобную граммпластинкам. Для одной из моделей машин (США) разработано ЗУ на 50 магнитных дисках, насаженных на непрерывно вращающуюся со скоростью 1 200 *об/мин* вертикальную ось (рис. 26). Расстояние между дисками равно 8 *мм*. Это позволяет подводить магнитные головки к любой из дорожек, расположенных по обеим сторонам дисков. На каждой стороне диска размещается по 100 концентрических дорожек. Общая емкость описанного дискового ЗУ достигает 5 млн. дв. ед., причем запись и считывание информации могут производиться в любой последовательности со скоростью, определяемой временем, необходимым для того, чтобы подвести головку к нужной дорожке, т. е. порядка долей секунды.

Для малых электронных вычислительных машин раз-

работано такое дисковое ЗУ, у которого ферромагнитный слой не покрывает всю поверхность диска, а сосредоточен в виде радиальных спиц из сплава никеля и кобальта. Каждый участок спицы, соответствующий месту пересечения концентрической окружности под головкой со спицей, предназначается для хранения 1 дв. ед. информации. Таким образом, емкость всего двустороннего диска равна удвоенному произведению числа магнитных головок (числа концентрических дорожек) на число спиц.

Благодаря отсутствию между спицами магнитного материала при прохождении под головкой даже и ненамагниченного участка спицы в обмотке головки индуктируется слабый сигнал. Это дает возможность получать синхронизирующие импульсы с любой дорожки независимо от записанной на ней информации.

Хотя плотность записи, а следовательно, и емкость такого диска меньше, чем у дисков со сплошным ферромагнитным слоем, большим достоинством описанного ЗУ является возможность получения сигналов считывания в виде импульсов напряжением до 12 *в*. Такая значительная величина сигналов обусловлена большим остаточным магнитным потоком сплава, широкой дорожкой, значительной толщиной магнитных спиц и четкими их границами.

15. СХЕМЫ ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ

Схемы записи и считывания информации в магнитных ЗУ должны обеспечивать возможность определения в каждый данный момент положения магнитного носителя относительно головок (номера ячейки ЗУ, находящейся против магнитных головок), усиления и формирования импульсов записи и считывания и управления передачей в нужные моменты импульсов записи из регистра в обмотки головок и импульсов считывания из обмоток головок в регистр.

Рассмотрим, как осуществляются эти функции на примере блок-схемы ЗУ на магнитном барабане электронной вычислительной машины М-2 (рис. 27). Емкость этого ЗУ составляет 512 34-разрядных двоичных чисел, причем запись или чтение всех 34 разрядов каждого числа происходит одновременно.

Записанные на барабане числа при считывании не стираются, а при записи в данной ячейке нового числа оно просто заменяет уже ставшее ненужным хранившееся прежде число. Система записи здесь производится по трем уровням с промежутками между цифрами.

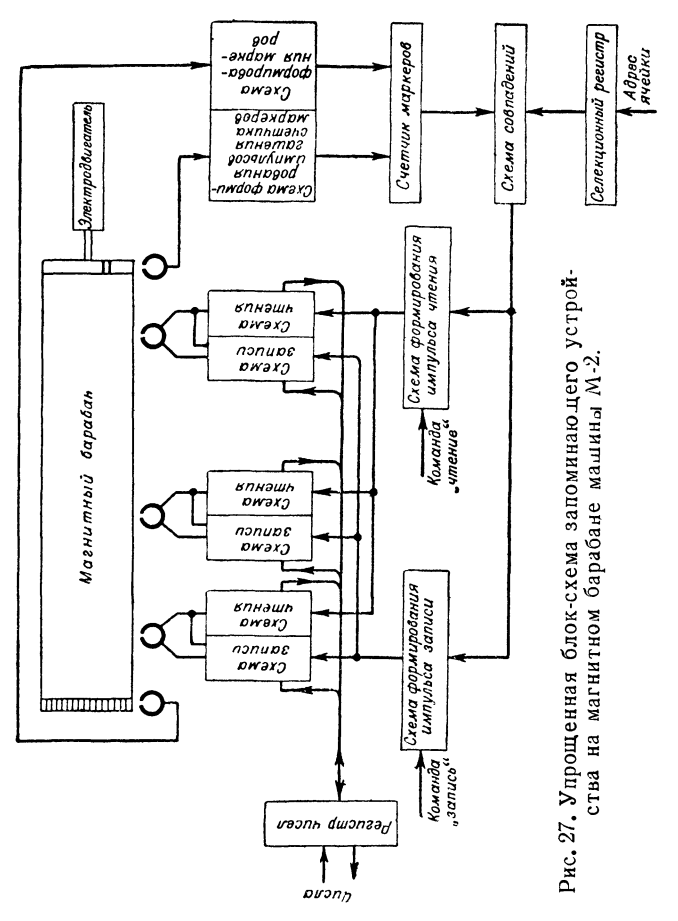


Рис. 27. Упрощенная блок-схема запоминающего устройства на магнитном барабане машины М-2.

Предназначенные как для записи, так и для чтения 34 магнитные головки установлены в ряд вдоль образующей барабана. Таким образом, все 34-разрядное число записывается на одной образующей и каждому из 512 адресов ЗУ соответствует своя образующая на барабане.

На специальной маркерной дорожке барабана записаны маркерные отметки — по одной против каждой ячейки ЗУ. При вращении барабана специальная магнитная головка, расположенная против маркерной дорожки, считывает маркеры, которые поступают в схему формирования маркерных импульсов, выдающую импульсы на счетчик маркеров. Этот счетчик указывает, следовательно, адрес образующей, т. е. номер ячейки ЗУ, находящейся в данный момент под

магнитными головками. 1 раз за каждый оборот барабана, в промежутке между 512-м и 1-м маркерными импульсами, с другой специальной головки через соответствующую схему формирования выдается импульс гашения счетчика маркеров.

Рассмотрим теперь процесс записи или считывания числа по определенному адресу ЗУ. Подлежащее записи число фиксируется в регистре чисел, а адрес, по которому оно должно быть записано, — в селекционном регистре. Триггер каждого разряда регистра чисел соединен с соответствующими схемами записи и чтения, которые, в свою очередь, соединены с магнитными головками соответствующих разрядов.

Команда «запись» подготавливает к выдаче импульса схему формирования импульсов записи. При совпадении показаний счетчика маркеров и селекционного регистра, т. е. в момент, когда нужная ячейка находится под магнитными головками, схема совпадений обеспечивает выдачу из схемы формирования импульсов одновременно во все 34 схемы записи. Эти схемы, в свою очередь, создают тракты для записи всех разрядов числа, зафиксированного в регистре чисел соответствующими магнитными головками. При этом в зависимости от состояния («0» или «1») каждого из триггеров регистра чисел соответствующая схема записи направляет импульс записи в ту или иную обмотку магнитной головки, обеспечивая нужное направление намагничивания находящегося под головкой элемента поверхности барабана.

Для считывания числа с магнитного барабана в селекционный регистр помещается адрес требуемой ячейки ЗУ, а командой «чтение» подготавливается к выдаче импульса схема формирования импульсов чтения. При совпадении показаний счетчика маркеров и селекционного регистра схема совпадений производит выдачу из схемы формирования импульсов одновременно во все 34 схемы чтения. Эти схемы, в свою очередь, выдают импульсы, управляющие триггерами регистра чисел соответственно сигналам, считываемым магнитными головками. Таким образом, записанное в избранной ячейке магнитного барабана число фиксируется в регистре чисел.

Описанные принципы построения схемы записи — чтения с некоторыми видоизменениями применяются как в других ЗУ на магнитных барабанах, так и в ЗУ с магнитной записью на магнитных лентах и дисках. Специфиче-

скими особенностями двух последних ЗУ является только то, что в соответствии с адресом требуемой ячейки ЗУ в них нужно управлять еще и механическими перемещениями: в ЗУ на магнитной ленте — перемоткой самой ленты до нахождения нужной зоны, а в дисковых ЗУ — перемещением головок к требуемой концентрической дорожке записи.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

16. СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА

Применение в качестве материала для изготовления элементов ЗУ ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса позволило создать весьма надежные, емкие и быстродействующие блоки памяти, получившие уже в настоящее время широкое распространение и имеющие большие перспективы использования в дальнейшем.

Ферриты или оксиферы представляют собой комплексные металлические окислы (соли железной кислоты). Общая формула ферритов имеет вид $MeO \cdot Fe_2O_3$, где Me — тот или иной металл.

Для изготовления элементов ЗУ повсеместное применение получили характеризующиеся прямоугольной петлей гистерезиса магний-марганцевые ферриты, составленные по формуле $MgO \cdot MnO \cdot Fe_2O_3$ в весовом соотношении 52 : 7 : 41.

Наиболее широко в качестве элементов ЗУ используются ферритовые сердечники тороидальной формы, изготовляемые, как и большинство изделий из ферритов, методами порошковой металлургии (металлокерамики).

Эти методы заключаются в следующем. Соответствующий ферритовый материал подвергается тончайшему измельчению в шаровых или вибрационных мельницах и затем перемешивается с пластификатором (водным раствором поливинилового спирта или парафином). Далее из полученной массы изделия необходимой формы прессуются в металлических пресс-формах и, наконец, подвергаются термической обработке в виде обжига в камерных или туннельных печах при температуре порядка 1 000—1 400° С.

Полученные в результате такой обработки ферритовые тороидальные сердечники обладают высоким удельным

электрическим сопротивлением (до 10^9—10^{11} *ом · см*), большой индукцией насыщения и большой остаточной индукцией (до 2 000—3 000 *гс*), способностью быстро перемагничиваться (в течение времени порядка 1 *мксек*) и сколь угодно долго сохранять намагниченное состояние, высокой прямоугольностью петли гистерезиса.

Петля гистерезиса ферромагнитного материала приведена на рис. 28. Как видно из графика, при величине напряженности поля $+H_0$ индукция в магнитном материале достигает величины $+B_s$. После прекращения действия напряженности поля сохраняется остаточная индукция $+B_r$. Если даже создать напряженность поля противоположного направления величиной порядка $H_0/2$ и более, то индукция сохранит положительное направление, и хотя и уменьшится несколько, но останется близкой по величине к $+B_r$. Только при приближении величины напряженности к $-H_0$ происходит перемагничивание материала, индукция достигает величины $-B_s$ и сохраняет после прекращения действия напряженности значение $-B_r$. Таким образом, материал с прямоугольной петлей гистерезиса характеризуется наличием двух устойчивых состояний ($B \approx +B_r$ и $B \approx -B_r$), причем, чтобы материал перешел из одного устойчивого состояния в другое, нужно создать напряженность поля $H \approx +H_0$ или $H \approx -H_0$.

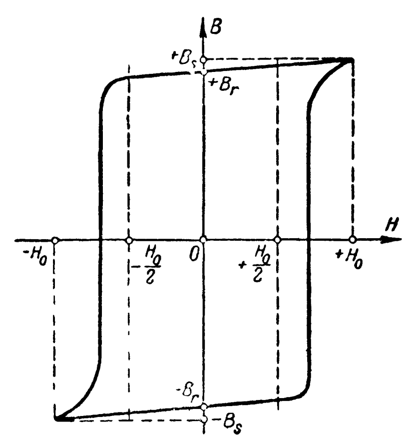


Рис. 28. Петля гистерезиса ферромагнитного материала, близкая к прямоугольной форме.

Описанные свойства ферритовых сердечников и являются физической основой для использования их в качестве элементов ЗУ. Одно из устойчивых состояний будем обозначать «0», а другое — «1». Таким образом, из *n* сердечников можно создать *n*-разрядный регистр, пригодный для сколь угодно длительного хранения зафиксированного двоичного числа.

Качество материала с точки зрения его способности устойчиво сохранять состояние намагниченности после прекращения действия напряженности поля характеризуют так называемым коэффициентом прямоугольности $k_{пр} = \frac{B_r}{B_s}$, который равен 0,8 — 0,9.

У лучших образцов ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса коэффициент $k_{пр}$ достигает значения 0,96. Коэффициент прямоугольности является показателем качества запоминающих свойств сердечника.

Тороидальные сердечники, применяемые в ЗУ, могут иметь различные размеры. Внешний диаметр их колеблется в пределах от 10 до 1,4 *мм*, внутренний диаметр — соответственно от 5 до 1 *мм*.

17. МАТРИЧНЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

Для изготовления матричного ЗУ ферритовые сердечники располагают в виде системы, состоящей из прямолинейных горизонтальных и вертикальных рядов (рис. 29). Каждый горизонтальный ряд образует один регистр, а каждый вертикальный ряд предназначается для записи одного из разрядов всех фиксируемых в ЗУ чисел. Таким образом, если мы создадим матричную схему, которая содержит m горизонтальных и n вертикальных рядов, то емкость хранения такого ЗУ будет составлять m двоичных чисел, каждое из которых может содержать n разрядов. Иными словами, каждый горизонтальный ряд представляет собой ячейку ЗУ, предназначенную для запоминания одного n-разрядного числа.

На каждом сердечнике располагаются три обмотки. Две из них предназначаются для выбора нужных элементов ЗУ при записи и считывании информации, а третья является специальной обмоткой чтения (рис. 29). Все обмотки каждого из рядов соединены между собой последовательно, образуя шины $X_1, X_2, \ldots, X_n$ и $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$. Одни концы этих шин образуют соответствующие входы, а другие концы заземлены. Все обмотки считывания также соединены между собой последовательно, причем один конец образуемой цепи заземлен, а другой является общим выходом считывания ЗУ.

На входы $X_1, X_2, \ldots, X_n$ и $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ в процессе записи или считывания информации подаются импульсы

тока с амплитудой $I_0/2$, где I_0 — величина тока, необходимая для создания напряженности H_0, достаточной для перемагничивания сердечника (рис. 28).

Следовательно, прохождение тока только по одной из обмоток сердечника не может изменить его магнитного состояния. При пропускании же токов одинакового направления по обеим обмоткам создаваемые ими поля складываются, в результате чего напряженность поля достигает величины H_0, достаточной для перехода сердечника в соответствующее устойчивое состояние.

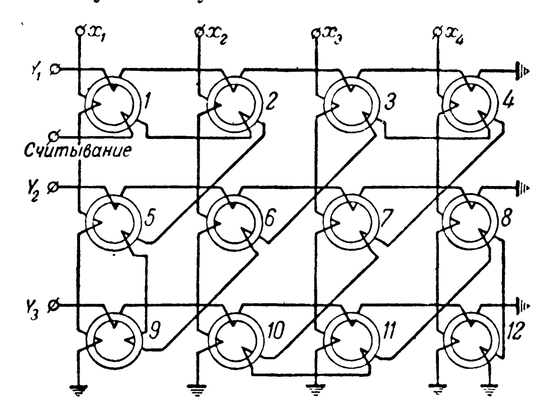


Рис. 29. Схема матричного запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

Условимся считать начальным состоянием сердечников состояние отрицательной намагниченности. Для приведения всех сердечников ЗУ в начальное состояние, т. е. для стирания всей хранившейся в ЗУ информации, нужно на выходы всех горизонтальных и вертикальных шин подать одновременно отрицательные импульсы тока.

Рассмотрим теперь процесс записи информации в ЗУ. Пусть мы хотим записать в ячейке № 2, т. е. в регистре на второй горизонтальной шине, число 1011. Для этого подадим на вход Y_2 положительный импульс и в то же время на вход X_1—положительный (1), X_2—отрицательный (0), X_3— положительный (1) и X_4— положительный (1) импульсы. Тогда в сердечниках *5, 7* и *8* будет создана положительная напряженность, достаточная для их перемагничивания в состояние положительной намагниченности, а сердечник *6* останется в состоянии отрицательной намагниченности.

В таком виде записанную информацию можно без всякой затраты энергии хранить неограниченно долгое время. Если мы теперь хотим прочитать число, хранящееся в какой-нибудь из ячеек ЗУ, то нужно подать на все время считывания на соответствующую горизонтальную шину отрицательный импульс, а на все вертикальные шины X_1, X_2, ..., X_n — отрицательные импульсы тока последовательно один за другим.

Рассмотрим процесс чтения числа, хранящегося в ячейке № 2. Отрицательный импульс тока, поданный на вход $У_2$, создает напряженность — $H_0/2$ во всех сердечниках второго горизонтального ряда, но это оказывается недостаточным для изменения их магнитного состояния. При подаче отрицательного импульса на вход X_1 произойдет перемагничивание сердечника *5*, вследствие чего в его считывающей обмотке индуктируется э. д. с., которая создает импульс на выходе считывания. Подача импульса на вход X_2 не вызовет перемагничивания сердечника *6*, так как он был намагничен отрицательно, и на выходе мы не получим импульса напряжения; при подаче импульсов тока на входы X_3 и X_4 перемагнитятся сердечники *7* и *8* и на выходе получатся импульсы напряжения.

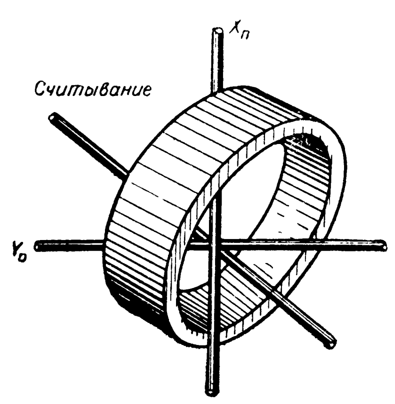


Рис. 30. Узел матричного запоминающего устройства на кольцевых сердечниках с пронизывающими проводниками вместо обмоток.

В устройствах большой емкости каждая матрица предназначается для запоминания только одного разряда всех чисел, а емкость всего ЗУ определяется произведением количества вертикальных и горизонтальных шин в матрице. Например, матричное ЗУ для хранения 10 000 40-разрядных двоичных чисел состоит из 40 матриц, каждая из которых содержит 100 × 100 шин и 10 000 ферритовых сердечников на пересечениях шин.

Время записи и считывания у описанных устройств измеряется единицами микросекунд, причем выборка чисел из ЗУ может производиться в произвольном порядке,

т. е. они относятся к категории равнодоступных ЗУ. Для удешевления ЗУ и упрощения его изготовления обмотки на сердечниках могут быть заменены просто проводниками шин, продетыми сквозь кольцевые сердечники. При этом узел матрицы имеет вид, показанный на рис. 30.

На рис. 31 приведена увеличенная фотография угла платы (матрицы) ЗУ на ферритовых сердечниках, а на

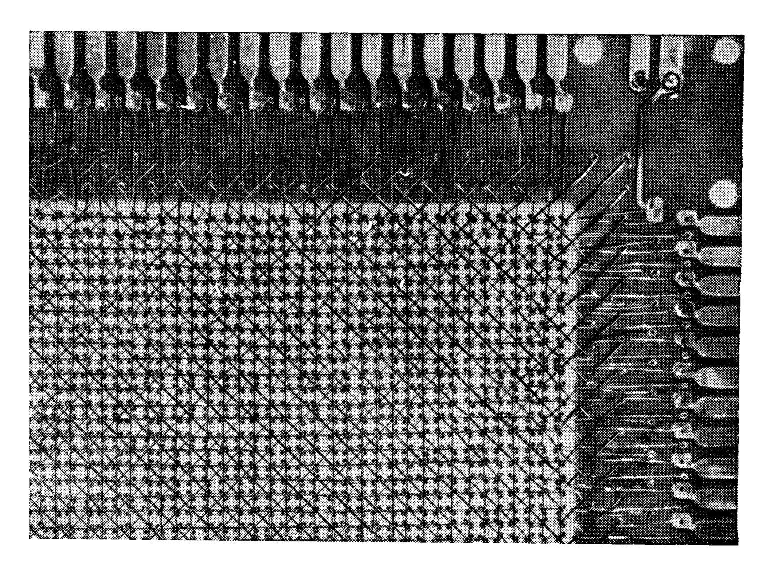


Рис. 31. Увеличенный вид угла платы запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

рис. 32 — внешний вид блока ферритового ЗУ, состоящего из 44 плат, емкостью в 24 000 дв. ед. Обе фотографии относятся к ферритовому ЗУ электронной вычислительной машины «УНИВАК II» (США).

Как уже указывалось выше, при считывании информации сигналы чтения наводятся в обмотках только тех сердечников, которые переходят из состояния намагниченности одного направления в состояние намагниченности другого направления. Однако, так как считывающая обмотка проходит через все сердечники матрицы, то в остальных сердечниках при этом наводится э. д. с. помех. Появление этих помех объясняется тем, что хотя от напряженности поля — $H_0/2$ и не происходит перемагничивание сердечников, находящихся в состоянии поло-

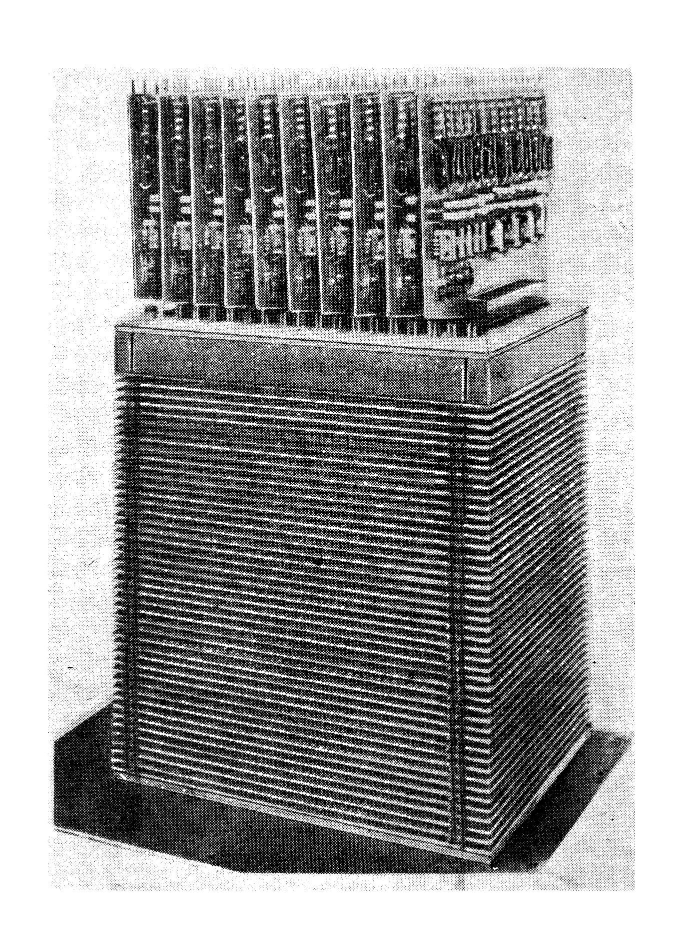


Рис. 32. Внешний вид блока ферритового запоминающего устройства.

жительной намагниченности, но, как это видно из рис. 28, вследствие не идеально прямоугольной формы петли гистерезиса происходит некоторое уменьшение положительной магнитной индукции до величины $B < B_r$. Но всякое изменение магнитной индукции в сердечнике вызывает индукцию э. д. с. в его считающей обмотке и, следовательно, на выходе считывания, кроме полезного сигнала чтения, появляются еще и сигналы помех от всех тех сердечников, в одни обмотки которых поступили отрицательные импульсы. Для частичной компенсации помех цепь считывания, как это видно из рис. 29, обходит тороиды мат-

рицы петлеобразно с переменой своего направления по каждому диагональному ряду. При этом индуктируемые в различных диагональных рядах э. д. с. помех оказываются направленными навстречу друг другу.

Однако, конечно, полной компенсации помех достичь при этом не удается и, следовательно, то обстоятельство, что все сердечники некоторого разряда всех чисел пронизываются общим проводом считывания, является серьезным недостатком матричных ЗУ. Разброс магнитных характеристик сердечников в матричных ЗУ не должен превышать нескольких процентов, что требует отбраковки значительного числа сердечников и, естественно, удорожает стоимость всего устройства. Наконец, в матричных ЗУ недопустим так называемый форсированный режим работы, т. е. применение для считывания импульсов тока, существенно превышающих величину тока, соответствующего коэрцитивной силе сердечника, так как это привело бы к изменению магнитного состояния и на избранных сердечниках. А ограничение амплитуды импульсов, управляющих считыванием, в свою очередь, ограничивает и амплитуду импульсов, получаемых на выходе цепи считывания.

Все эти недостатки магнитных ЗУ обусловили в ряде случаев применение других устройств памяти на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса — так называемых ЗУ с непосредственной выборкой.

Однако прежде чем перейти к этим ЗУ, описанным в следующем параграфе, упомянем еще об одной конструкции ферритового ЗУ. Вместо матриц, включающих большое количество отдельных сердечников и пересекающихся шин, недавно разработана запоминающая матрица, представляющая собой сплошную пластинку, изготовленную из ферромагнитной керамики с большим количеством крошечных отверстий. Стенки этих отверстий играют роль ферритовых кольцеобразных сердечников.

Так как сама пластинка является диэлектриком, то необходимые проводники — шины — могут быть нанесены на нее методом печатного монтажа. Благодаря этому исключается очень трудоемкий процесс «прошивания» сердечников матриц проволокой.

Изготовленные таким образом опытные пластинки площадью около 650 *мм*² содержат 256 отверстий (около 40 отверстий на 1 *см*²) и, следовательно, пригодны для запоминания 256 дв. ед. информации. Первый образец

описанного ЗУ имеет емкость до 3000 дв. ед. при объеме около 30 *см*³. В настоящее время предполагается изготовление ЗУ такого типа емкостью до 1 млн. дв. ед.

18. ФЕРРИТОВЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ВЫБОРКОЙ

Основным отличием ЗУ с непосредственной выборкой или, как их часто называют, ЗУ типа Z, является то, что импульс тока считывания подается сразу во все разряды только одного выбранного в данный момент регистра, хранящего нужное число. Это позволяет производить при считывании форсированное перемагничивание сердечников регистра импульсом тока считывания большой амплитуды, так как этот ток не попадает в обмотки сердечников других регистров и, следовательно, не может нарушить хранящейся в них информации. Благодаря применению форсированного режима достигаются сокращение времени считывания и повышение амплитуды выходного сигнала считывания в несколько раз по сравнению с обычными ЗУ на ферритовых сердечниках.

Так как при считывании импульс тока поступает только в один регистр и, следовательно, в каждом разряде возбуждается только один сердечник, то и в проводе считывания, который проходит через сердечники данного разряда всех регистров, сигнал появится только от одного выбранного сердечника. Обусловленное этим обстоятельством отсутствие помех при чтении позволяет существенно упростить цепи считывания и повышает надежность работы ЗУ.

Недостатком ЗУ с непосредственной выборкой является необходимость иметь в схеме для каждого числового регистра индивидуальный вентиль. В качестве таких вентилей в ЗУ большой емкости удобно использовать так называемые магнитные ключи.

Магнитный ключ (рис. 33) представляет собой трансформатор с четырьмя обмотками на тороидальном ферритовом сердечнике с прямоугольной петлей гистерезиса (рис. 33,*б*). Обмотки w_x и w_y служат для возбуждения трансформатора, работающего по принципу совпадения токов; обмотка w_z — выходная обмотка трансформатора, нагруженная n запоминающими сердечниками, образующими n-разрядный регистр на одно число; в обмотку $w_{см}$ подается некоторый постоянный ток смещения. Этот ток

создает напряженность смещения $H_{см}$, определяющую положение рабочей точки A на петле гистерезиса, соответствующей состоянию отрицательной намагниченности сердечника.

Так как напряженности поля $H_x = H_y = H_{см}$, то при пропускании тока только по одной из обмоток возбуждения магнитное состояние сердечника не изменится. При совпадении моментов прохождения токов в обеих обмотках

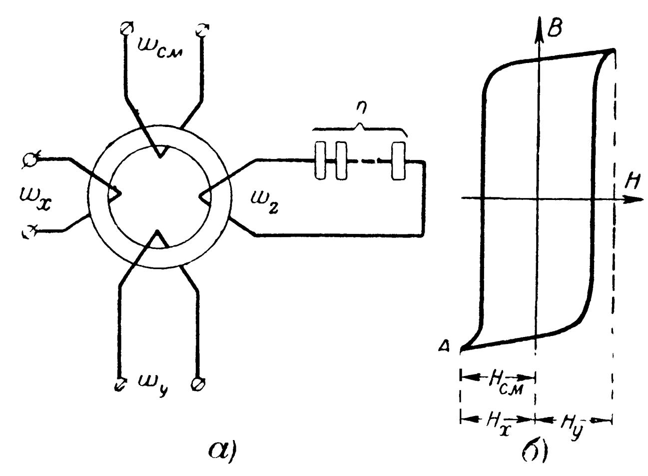


Рис. 33. Магнитный ключ запоминающего устройства с непосредственной выборкой.
а — схема ключа; *б* — петля гистерезиса сердечника ключа.

возбуждения создается напряженность поля $H_x + H_y$, обеспечивающая переход сердечника в состояние положительной намагниченности. При этом в обмотке w_z индуктируется импульс чтения, поступающий в запоминающие сердечники избранного регистра. После прекращения токов в обмотках w_x и w_y сердечник снова возвращается под действием напряженности поля, создаваемой обмоткой смещения, в состояние отрицательной намагниченности.

Магнитные ключи размещаются в узлах матрицы, предназначенной для выбора нужных числовых регистров, которая носит название координатной сетки (рис. 34).

Числовые регистры или линейки с запоминающими сердечниками располагаются параллельными рядами, которые, в свою очередь, прошиваются проводами считыва-

ния и записи. На рис. 35 изображено ЗУ с непосредственной выборной емкостью на четыре шестиразрядных числа. Каждая вертикальная линейка (шина Z) возбуждается обмоткой своего трансформатора (магнитного ключа) w_z. Через сердечники всех одноименных разрядов всех числовых линеек проходят провода считывания *Сч* и записи *З*. Выбор нужного регистра происходит благодаря посылке импульса по его шине Z от обмотки w_z соответствующего трансформатора, причем запись «0» или «1» сопровождается посылкой импульсов той или иной полярности по проводам записи *З*, соответствующих разрядов. При считывании импульс, проходящий по шине Z избранного регистра, вызывает перемагничивание сердечников, находящихся в состоянии положительной намагниченности, отчего в их обмотках индуктируется э. д. с., создающая импульсы считывания на выходах *Сч* соответствующих разрядов.

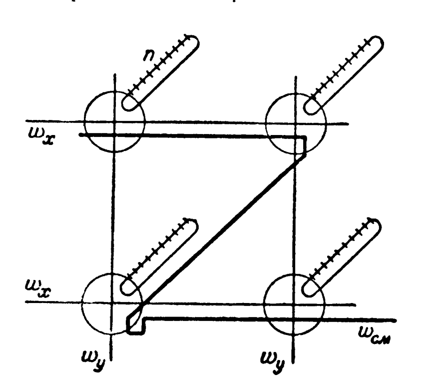


Рис. 34. Координатная сетка магнитных ключей.

Сопротивление цепи Z, являющееся нагрузкой обмотки w_z магнитного ключа, меняется в зависимости от кода, записанного в сердечниках данной числовой линейки, так как сопротивление обмотки каждого сердечника изменяется в зависимости от того, перемагничивается он или нет. В качестве одного из способов стабилизации нагрузки рекомендуется включение в числовую линейку последовательно с запоминающими специальных компенсационных сердечников, на которых всегда записывается код, обратный коду запоминаемого числа.

На основе описанных принципов создано, в частности, магнитное оперативное запоминающее устройство (МОЗУ), работающее в электронной машине БЭСМ. Емкость МОЗУ составляет 1 023 39-разрядных двоичных числа.

Конструктивно оно оформлено в виде блока из 16 кассет, каждая из которых является законченным ЗУ на 64 двоичных числа.

Кассета представляет собой рамку, разделенную на две неравные части. Бо́льшая часть отводится для собственно ЗУ с числовыми регистрами (линейками) на ферритовых сердечниках марки К-132 с внешним диаметром 3 *мм* и внутренним 2 *мм*, обладающих коэффициен-

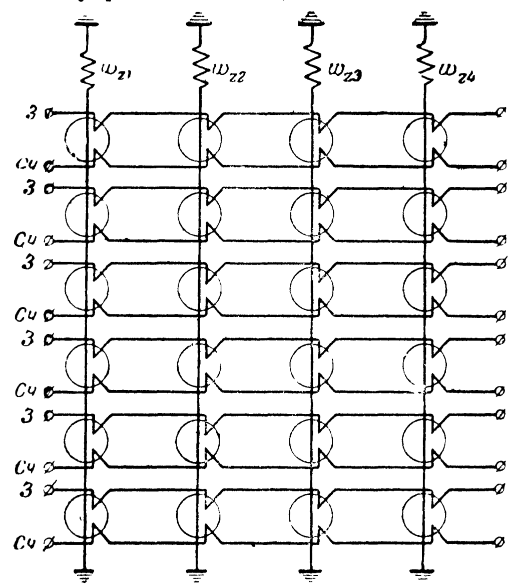


Рис. 35. Схема запоминающего устройства с непосредственной выборкой.

том прямоугольности 0,9. Меньшая часть кассеты используется для размещения сетки координатных трансформаторов (магнитных ключей) на ферритовых сердечниках марки К-65 с внешним диаметром 7 *мм*, внутренним 4 *мм* и коэффициентом прямоугольности 0,92.

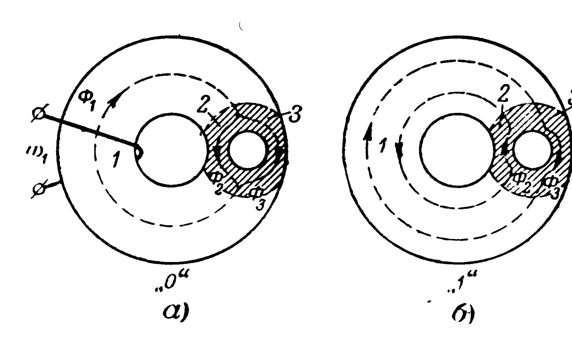
Опыт эксплуатации МОЗУ в машине БЭСМ показал его высокую надежность, относительную простоту и безотказность в эксплуатации.

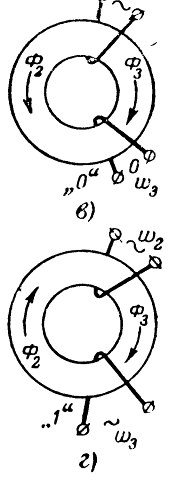
19. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТРАНСФЛЮКСОРАХ

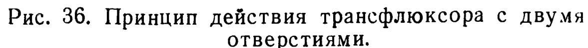
В описанных выше ЗУ на ферритовых сердечниках импульсы считывания индуктируются в результате перемагничивания запоминающих сердечников, и, следовательно, считывание сопровождается разрушением записанной информации. Поэтому, если информация должна быть со-

хранена в ЗУ и на дальнейшее время, необходимо предусматривать в устройствах специальные схемы для регенерации информации. Для этой цели импульсы считывания используются не только для вывода информации из ЗУ, но и для перезаписи ее в самом ЗУ.

Применяя ферритовые сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса с двумя и более отверстиями, можно создать запоминающие элементы, допускающие многократное считывание без разрушения информации. Эти элементы получили название «трансфлюксоров» в связи с тем, что их принцип действия основан на перераспределении магнитного потока в ветвях слож-






Рис. 36. Принцип действия трансфлюксора с двумя отверстиями.

ного магнитопровода, образуемого сердечником с несколькими отверстиями.

Принцип действия простейшего трансфлюксора иллюстрируется изображенными на рис. 36 различными его состояниями. Здесь изображен трансфлюксор с двумя круглыми отверстиями неравного диаметра, расположенными так, что магнитопровод имеет три участка *1*, *2* и *3* (рис. 36,*а*), причем площади поперечного сечения участков *2* и *3* одинаковы, а площадь сечения участка *1* больше суммы сечений участков *2* и *3*.

Пусть импульсом тока, пропущенным по обмотке w_1, сердечник намагничен в направлении, показанном на рисунке, до насыщения и, вследствие прямоугольности петли гистерезиса материала сердечника, это состояние насыщения сохраняется в сердечнике и после прекращения импульса. Такому состоянию сердечника, когда все его

участки намагничены до насыщения в направлении по часовой стрелке, припишем значение «0».

Пропустим теперь по обмотке w_1 так называемый установочный импульс — импульс тока, создающий м. д. с., противоположную по направлению, хотя и недостаточную по величине для перемагничивания всего сердечника, но достаточную для того, чтобы изменить магнитное состояние наиболее короткого участка магнитопровода, т. е. кольца, прилегающего непосредственно к большому отверстию и включающего в себя часть сечения *1* и все сечение *2*. Состоянию, в котором после прохождения установочного импульса будет находиться трансфлюксор, соответствует распределение магнитных потоков, изображенное на рис. 36,*б*. Этому состоянию, при котором потоки вокруг малого отверстия Φ_2 и Φ_3 направлены в противоположные стороны, припишем значение «1».

Изобразим теперь отдельно зону сердечника вокруг малого отверстия, заштрихованную и обведенную на рис. 36,*а*, *б* пунктиром, и назовем ее малой зоной. Эту зону можно, очевидно, рассматривать как намагниченный до насыщения автономный тороидальный сердечник, по обоим полукольцам которого в состоянии «0» магнитные потоки протекают навстречу друг другу (рис. 36,*в*), а в состоянии «1» магнитный поток течет по кольцу по часовой стрелке (рис. 36,*г*).

Поместим на это кольцо две обмотки w_2 и w_3, причем к обмотке w_2 подведем переменный ток, а зажимы обмотки w_3 используем как выход схемы. Амплитуды тока, подаваемого в обмотку w_2, ограничим так, чтобы создаваемая им м. д. с., будучи достаточной для изменения магнитного состояния зоны вокруг малого отверстия, оказывалась бы слишком слабой для изменения магнитного состояния всего сердечника трансфлюксора.

Тогда, если трансфлюксор находится в состоянии «0», м. д. с., создаваемая переменным током, всегда будет совпадать по направлению с одним из магнитных потоков Φ_1 или Φ_2 в одной или другой половине малой зоны. Но, так как весь материал находится в состоянии насыщения и дальнейшее увеличение магнитного потока в нем практически невозможно, то магнитный поток в зоне изменяться не будет, и в обмотке w_3 не будет индуктироваться сколько-нибудь значительной э. д. с.

Если же трансфлюксор находится в состоянии «1», причем магнитный поток в малой зоне направлен по ча-

совой стрелке, то в один полупериод переменного тока, когда м. д. с. совпадает по направлению с магнитным потоком, последний вследствие состояния насыщения практически изменяться не будет, но во второй полупериод при встречном потоку направлении м. д. с. будет происходить изменение магнитного состояния малой зоны на противоположное, в следующий период будет восстанавливаться прежнее состояние и т. д. Следовательно, в обмотке w_3 будет индуктироваться э. д. с. и на выходе появится переменное напряжение, являющееся сигналом считывания «1». Таковы физические основы запоминания и считывания информации без ее разрушения в трансфлюксорах.

Практически для считывания информации используют не переменный ток, а два знакопеременных импульса. ЗУ на трансфлюксорах строятся в виде матрицы подобно ЗУ на ферритовых сердечниках (рис. 29). При этом роль обмотки w_1 (рис. 36,*а*) играют адресные шины записи, которые продеваются через большие отверстия трансфлюксоров. Запись информации производится по принципу совпадения токов, причем запись «0» или «1» определяется направлением и амплитудой импульсов в шинах записи. Импульсы считывания подаются в адресные шины считывания, которые продеваются через малые отверстия трансфлюксоров и заменяют собой обмотку w_2 (рис. 36,*в* и *г*). Роль обмотки w_3 выполняет продетый через малые отверстия всех трансфлюксоров матрицы провод считывания.

Матричное ЗУ на трансфлюксорах допускает одновременную и независимую запись и считывание по разным адресам.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

20. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

Запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках нашли широкое применение в качестве устройств оперативной памяти в электронных вычислительных машинах и в других установках, требующих большого быстродействия. Время обращения к электронно-лучевому

ЗУ составляет единицы микросекунды и может быть доведено до долей микросекунды при произвольном доступе к любой ячейке ЗУ. Емкость устройств этого типа колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч многоразрядных чисел.

В основе действия почти всех разработанных к настоящему времени накопительных электронно-лучевых трубок лежит образование так называемого потенциального рельефа на диэлектрических экранах за счет явления вторичной электронной эмиссии.

Как известно, при достаточно интенсивной бомбардировке электронами некоторой мишени из нее выбиваются

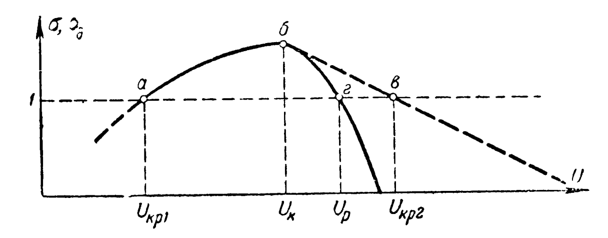


Рис. 37. Зависимость коэффициентов полной вторичной эмиссии (штриховая линия) и действующего коэффициента вторичной эмиссии (сплошная линия) от ускоряющего напряжения.

вторичные электроны, создающие ток вторичной электронной эмиссии. Отношение количества вторичных электронов, выбиваемых из мишени за 1 *сек,* к количеству первичных электронов, попадающих на мишень за 1 *сек*, или, другими словами, отношение полного тока вторичной эмиссии I_2 к первичному току I_1 носит название коэффициента полной вторичной электронной эмиссии $\sigma=I_2/I_1$.

На рис. 37 пунктиром изображена кривая зависимости σ от ускоряющего первичные электроны потенциала U, например потенциала мишени. При очень малом ускоряющем потенциале вторичная эмиссия будет также очень мала, и коэффициент σ будет близок к нулю. По мере роста ускоряющего потенциала, а следовательно, и энергии бомбардирующих мишень электронов ток вторичной эмиссии растет и в конце концов достигает величины первичного тока ($I_2=I_1$; $\sigma=1$) при некотором значении ускоряющего потенциала, которое называют первым критическим потенциалом $U_{кр1}$ (точка *а*). При дальнейшем увеличении ускоряющего потенциала коэффициент σ про-

должает расти, однако пройдя через некоторый максимум (точка *б*) начинает падать, и в пределе, снова пройдя при критическом потенциале $U_{кр2}$ (точка *в*) значение $\sigma=1$, стремится к нулю. Объясняется это тем, что при очень больших энергиях бомбардирующих электронов они проникают настолько глубоко в толщу материала мишени, что выход вторичных электронов, получивших от них энергию, оказывается весьма затрудненным.

Если на некотором расстоянии от мишени поместить коллектор (электрод, на который подан положительный потенциал), то эмиттируемые мишенью вторичные электроны будут притягиваться коллектором и создадут в его цепи ток $I_к$. Однако поле между мишенью и коллектором не всегда достаточно для отбора всех вторичных электронов, и часть их может возвращаться обратно на мишень.

Следовательно, при определенных обстоятельствах $I_к < I_2$. В связи с этим введено понятие действующего коэффициента вторичной электронной эмиссии $\sigma_д = I_к/I_1$.

Зависимость $\sigma_д$ от потенциала мишени U при некотором постоянном значении напряжения на коллекторе $U_к$ показана на рис. 37 сплошной линией. Пока потенциал мишени ниже потенциала коллектора, все выбитые из мишени вторичные электроны притягиваются коллектором, следовательно, $I_к = I_2$ и кривые σ и $\sigma_д$ совпадают. Однако по мере увеличения потенциала мишени при $U > U_к$ все большее количество вторичных электронов возвращается на мишень, и в конце концов ток коллектора становится равным нулю.

При этом $\sigma_д$ проходит через значение, равное 1, обозначенное на графике точкой *г*. Эта точка соответствует устойчивому равновесному потенциалу мишени $U_р$. В самом деле, если потенциал мишени $U < U_р$, то $\sigma_д > 1$, т. е. $I_к > I_1$. Это значит, что с мишени уходит больше электронов, чем попадает на нее, и, следовательно, потенциал мишени растет.

Если же $U > U_р$, то, как видно из кривой, $\sigma_д < 1$ и $I_к < I_1$. Следовательно, на мишень попадает больше электронов, чем уходит с нее, и, значит, потенциал мишени уменьшается.

Таким образом, при определенном режиме работы электронно-лучевой трубки и напряжении на ее коллек-

торе $U_к$ электронный луч, попадая в какую-нибудь точку диэлектрического экрана, будет создавать в этой точке некоторый равновесный потенциал $U_р$.

Направляя при помощи отклоняющей системы луч в нужные точки экрана, соответствующие определенным ячейкам ЗУ, можно записать на диэлектрическом экране трубки в виде так называемого потенциального рельефа нужную информацию. Емкость ЗУ на электронно-лучевых трубках зависит от того количества элементарных заряженных участков, которые можно создать на экране, не опасаясь потери информации из-за слишком быстрого растекания зарядов и взаимного влияния элементов друг на друга вследствие как бы «забрызгивания» соседних элементов при многократном обращении электронным лучом к одному из них.

Считывание информации производится также электронным лучом. При движении луча по экрану на металлической сигнальной пластине, расположенной за экраном, возникают импульсы, амплитуда и полярность которых зависят от записанной на экране информации.

Основными типами запоминающих трубок, применяемых для хранения закодированной в виде двоичных чисел информации, являются:

а) трубки с барьерной сеткой;

б) трубки с поверхностным перераспределением зарядов;

в) трубки типа «селектрон» с поддерживающим лучом.

21. ЗАПОМИНАЮЩАЯ ТРУБКА С БАРЬЕРНОЙ СЕТКОЙ

Так как вторичные электроны, выбиваемые из мишени (экрана), неполностью собираются коллектором, то, возвращаясь на экран, они искажают образовавшийся на нем потенциальный рельеф и, таким образом, нарушают записанную на экране информацию. В качестве одной из мер для устранения этого явления применяется установка перед экраном густой сетки для улавливания вторичных электронов, которая получила название задерживающей или барьерной сетки и потенциалом которой определяется установившийся или равновесный потенциал диэлектрического экрана.

Устройство запоминающей электронно-лучевой трубки или потенциалоскопа с барьерной сеткой показано схематически на рис. 38. Основными частями потенциалоскопа

являются: электронный прожектор, отклоняющая система, накопительная система.

Электронный прожектор, как и в обычных электронно-лучевых трубках, включает катод, управляющий электрод и ряд анодов. Назначением электронного прожектора являются: создание потока электронов нужной интенсивности, их ускорение и фокусировка в узкий направленный пучок — так называемый электронный луч.

Отклоняющая система потенциалоскопа состоит из двух, расположенных перпендикулярно друг другу пар параллельных пластин. Эти пластины создают электрические поля, отклоняющие проходящий между ними электронный луч так, чтобы направить его в заданную ячейку — точку на диэлектрическом экране.

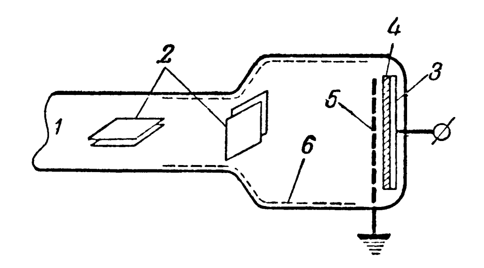


Рис. 38. Схематическое устройство потенциалоскопа с барьерной сеткой.

1 — электронный прожектор; 2 — отклоняющие пластины; 3 — сигнальная пластина; 4 — диэлектрический экран; 5 — барьерная сетка; 6 — коллектор.

К накопительной системе, которая служит для записи, хранения и считывания информации, относятся сигнальная пластина с диэлектрическим экраном, барьерная сетка и коллектор. В одном из конкретных типов потенциалоскопов — потенциалоскопе отечественного производства типа ЛН-1 — сигнальная пластина сделана из алюминия, на который нанесен слой окиси алюминия, выполняющий назначение диэлектрического экрана или мишени — потенциалоносителя. На расстоянии 0,2 *мм* от экрана расположена тонкая мелкоструктурная барьерная сетка. Коллектором является кольцевое проводящее аквадаговое покрытие внутренней поверхности стеклянной колбы.

Для записи информации в какой-либо точке экрана в эту точку направляют электронный луч и одновременно

подают на сигнальную пластину положительный потенциал при записи «1» и отрицательный потенциал при записи «0».

В первом случае в выбранной точке экрана происходит накопление электронов, т. е. записи кода «1» соответствует появление на данном элементе потенциалоносителя отрицательного заряда.

Во втором случае вследствие вторичной электронной эмиссии и отталкивания электронов отрицательным потенциалом сигнальной пластины в данной точке экрана возникает недостаток электронов, т. е. записи кода «0» соответствует появление на элементе поверхности экрана положительного заряда.

Таким образом, на потенциалоносителе возникает потенциальный рельеф, соответствующий записанной информации. Вследствие электростатической индукции на сигнальной пластине, являющейся как бы второй обкладкой конденсатора, возникают обратные по знаку заряды, связанные с зарядами на потенциалоносителе.

Для считывания записанной информации на сигнальную пластину подается нулевой потенциал (за условный нуль принят потенциал барьерной сетки) и в нужную точку экрана вновь направляется электронный луч. При этом потенциал избранного элемента приводится к потенциалу барьерной сетки (т. е. к условному нулю), и связанный с ним заряд на сигнальной пластине освобождается, создавая импульс считывания: положительный при считывании «1» и отрицательный при считывании «0».

При считывании информации, как уже сказано, потенциал соответственных точек экрана приводится к нулевому потенциалу барьерной сетки, т. е. считывание сопровождается стиранием информации. Поэтому с целью сохранения информации нужно использовать импульсы считывания для ее регенерации или перезаписи.

Необходимость периодического восстановления записанной информации существует также и при отсутствии ее считывания, чтобы избежать разрушения потенциального рельефа за счет паразитных электронов и растекания зарядов вследствие утечек по диэлектрику.

Работающий по описанному принципу первый советский потенциалоскоп ЛН-1 характеризуется следующими данными: диаметр трубки 170 *мм*, длина трубки 400 *мм*, емкость 1 024 дв. ед., надежность 400—500. Здесь под надежностью понимается количество допустимых обраще-

ний к какому-либо элементу экрана без нарушения записи на соседних элементах.

Сейчас выпускается более совершенная трубка ЛН-4, которая при тех же размерах обладает емкостью 2 048 дв. ед. при надежности около 850.

На описанных трубках типа ЛН-1 было выполнено оперативное ЗУ машины БЭСМ общей емкостью 1 024 39-разрядных числа со временем обращения около 15 *мксек*. В начале 1957 г. это ЗУ заменено более надежным ЗУ на ферритовых сердечниках с непосредственной выборкой. В машине «Стрела» и в настоящее время на потенциалоскопах работает оперативное ЗУ емкостью 1 024 43-разрядных числа со временем обращения около 20—40 *мксек*. При этом каждая трубка предназначается для хранения одного разряда всех чисел. Таким образом, ЗУ, предназначенное для хранения 1 024 43-разрядных чисел, должно содержать 43 потенциалоскопа, емкостью каждый в 1 024 дв. ед.

При записи и считывании электронные лучи во всех потенциалоскопах ЗУ должны одновременно направляться в одни и те же точки экранов. Таким образом, обеспечиваются параллельная запись и считывание всех разрядов многоразрядного числа.

Для того чтобы луч при переходе из одной точки экрана в другую „не размазывал" потенциальный рельеф и чтобы в нужных точках луч останавливался на время порядка нескольких микросекунд, необходимое для изменения заряда данного элемента, напряжение, подаваемое на отклоняющие пластины, должно иметь не пилообразную, как в обычных осциллографических трубках, а ступенчатую форму. Кроме того, на все время движения луча он должен запираться (гаситься) подачей соответствующего отрицательного потенциала на управляющий электрод трубки.

При необходимости производить запись или считывание в различных произвольно выбранных ячейках, необходимо скачком изменять напряжения на отклоняющих пластинах на такую величину, чтобы луч точно попадал в заданную точку экрана. Это обусловливает жесткие требования к постоянству напряжений, питающих отклоняющую схему. Нестабильность этих напряжений допускается лишь порядка десятых долей процента, а это, естественно, усложняет и удорожает все устройство.

Основным достоинством ЗУ на электронно-лучевых

трубках является их быстродействие при возможности произвольной записи и выборки данных. Это обусловило широкое использование электронно-лучевых трубок в оперативной памяти вычислительных машин, выпускавшихся в начале 50-х годов. Сейчас в связи с разработкой ЗУ на ферритовых сердечниках, которые характеризуются временем обращения порядка 10 *мксек* и менее, они все шире используются в быстродействующих ЗУ вместо электронно-лучевых трубок, которые обладают следующими основными недостатками.

Емкость электронно-лучевых ЗУ ограничена несколькими тысячами чисел, причем устройство получается довольно громоздким. Они недостаточно надежны в эксплуатации и требуют относительно квалифицированного обслуживания. В процессе хранения информации требуется ее непрерывная регенерация; в случае даже кратковременных перерывов электропитания информация, хранившаяся в ЗУ, разрушается. Наконец, ЗУ на электронно-лучевых трубках сравнительно дороги как с точки зрения начальных затрат, так и в процессе эксплуатации, особенно учитывая относительную недолговечность трубок, имеющих срок службы порядка 1 000—2 000 *ч*.

Однако пока преждевременно говорить о нецелесообразности создания и дальнейшей разработки ЗУ на электронно-лучевых трубках. В ряде случаев при необходимости создания быстродействующих ЗУ относительно небольшой емкости они продолжают успешно конкурировать с другими видами ЗУ и в течение ряда лет сохранят, по-видимому, свое значение.

Запоминающие электронно-лучевые трубки продолжают использоваться в ряде электронных вычислительных машин, они почти не имеют себе конкуренции в качестве ЗУ в радиолокационных установках, применяются в некоторых схемах для физических исследований и т. д.

Ниже мы рассмотрим еще две разновидности ЗУ на электронно-лучевых трубках, а именно на трубках с поверхностным перераспределением зарядов и на трубках типа «селектрон».

22. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТРУБКАХ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДОВ

Работа этих трубок также основана на явлении вторичной электронной эмиссии с диэлектрического экрана, обеспечивающей возникновение на нем потенциального

рельефа, соответствующего записываемой информации.

Процесс образования потенциального рельефа наглядно поясняется рис. 39,*а*. При бомбардировке экрана первичными электронами возникает вторичная электронная эмиссия с $\sigma_д > 1$. Это приводит к обеднению данного участка электронами или образованию так называемой потенциальной впадины, в которой имеет место недостаток

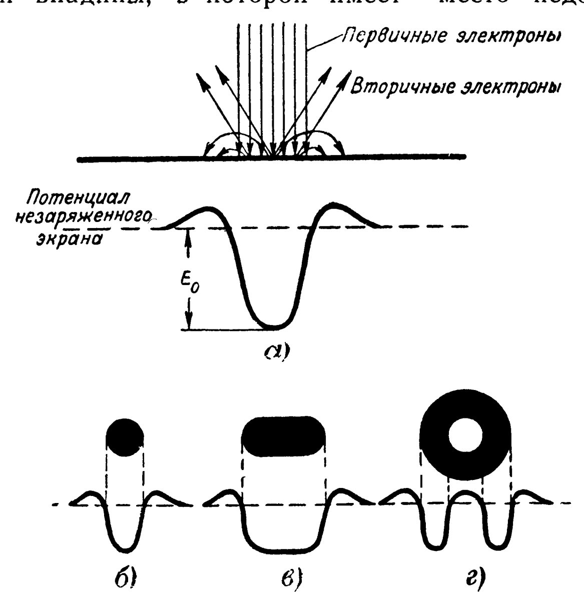


Рис. 39. Потенциальный рельеф и „рисунки" записи на экране.

а — образование потенциального рельефа; *б, в* и *г* — „рисунки" записи и потенциальные рельефы соответственно точки, черточки и кольца.

электронов и, следовательно, более высокий, чем в окружающих точках, потенциал E_0. Углубление потенциальной впадины продолжается до тех пор, пока потенциал облучаемого элемента не достигнет величины $U_р$, соответствующей точке *г* (рис. 37). После этого устанавливается динамическое равновесие, при котором действующий коэффициент вторичной электронной эмиссии $\sigma_д = 1$. Возникающие в процессе образования потенциальной впадины избыточные электроны в основной своей массе улавливаются коллектором. Однако некоторое количество их падает по краям бомбардируемого пятна, образуя вокруг

потенциальной впадины своего рода отрицательный барьер.

После прекращения облучения данного участка экрана ввиду его неидеальных изоляционных свойств начинается растекание зарядов по поверхности, что может привести к разрушению записанной информации, если ее своевременно не регенерировать. Период регенерации должен быть меньше времени, в течение которого происходит заметное растекание зарядов. Это время для стандартных трубок составляет около 0,2 *сек*.

В отличие от описанных ранее запоминающих трубок, в которых для различения записи «0» и «1» использовалась разница потенциальных уровней элементов экрана, в трубках с поверхностным перераспределением зарядов луч образует на экране «пятна» одного и того же потенциала, но различного «рисунка» или конфигурации, зависящей от записываемого кода. Так, например, записи «0» на экране могут соответствовать «рисунок» и потенциальный рельеф, имеющий форму точки (рис. 39,*б*), а записи «1» — имеющий форму черточки (рис. 39,*в*) или кольца (рис. 39,*г*).

Так как размеры поверхности, занятой зарядами, оказываются при этом различными, то и количество электричества, накапливаемое на элементарных участках экрана, будет также различно, а следовательно, и сигналы считывания, являющиеся разрядными токами образующихся при записи элементарных конденсаторов, будут также отличаться друг от друга.

Для того чтобы получить при записи на экране ту или иную форму пятна, на отклоняющие пластины наряду с постоянными напряжениями, определяющими выбор требуемой ячейки, подают еще переменное напряжение, заставляющее луч колебаться и вырисовывать нужную фигуру. Для записи «0», т. е. для получения на экране точки, луч должен оставаться неподвижным и, значит, никакого переменного напряжения подавать не надо. Для записи «1» в виде вертикальной черточки нужно подать переменное напряжение на пластины, отклоняющие луч по вертикали, а для записи «1» в виде кольца — два одинаковых по амплитуде и сдвинутых одно относительно другого по фазе на 90° переменных напряжения на обе пары взаимно-перпендикулярных пластин.

На описанном принципе поверхностного перераспределения зарядов основана работа ЗУ на электронно-луче-

вых трубках отечественной быстродействующей вычислительной машины типа М-2. В ее оперативном ЗУ используются обычные осциллографические трубки типа 13ЛО37 с 512-ю запоминающими элементами каждая и с надежностью (количеством допустимых обращений к одному элементу), равной 170.

Упрощенная блок-схема этого ЗУ приведена на рис. 40. Каждая трубка предназначается для хранения одного разряда всех чисел. Таким образом, ЗУ машины М-2, оперирующей с 34-разрядными двоичными числами, со-

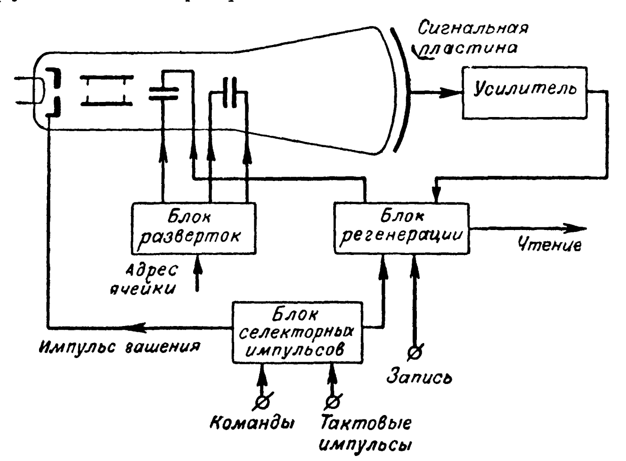


Рис. 40. Упрощенная блок-схема оперативного запоминающего устройства машины М-2.

брано на 34 трубках и имеет общую емкость 512 34-разрядных чисел. Чтение, запись и регенерация всех разрядов числа происходят одновременно, т. е. ЗУ работает по принципу параллельного действия.

В каждом разряде ЗУ, помимо трубки, имеются усилитель и блок регенерации. Блоки управления — блок разверток и блок селекторных импульсов — являются общими для всех разрядов ЗУ.

Назначение и взаимодействие всех блоков, изображенных на рис. 40, следующие:

Блок селекторных импульсов в соответствии с поступающими в него от программного датчика командами и тактовыми импульсами управляет работой блоков разверток и регенерации в режимах записи, чтения и регенерации, а также выдает импульсы гашения электронного луча

на время его перемещения от ячейки к ячейке по экрану трубки.

В блоке регенерации расшифровываются сигналы чтения, поступающие через усилитель от сигнальной пластины, и в соответствии с полученными от блока селекторных импульсов командами производится чтение или регенерация информации. В режиме регенерации луч последовательными скачками обходит все элементы экрана, и считываемые при этом сигналы используются для выработки блоком регенерации колебаний частотой 2 *Мгц* и амплитудой около 5—6 *в,* которые подновляют имеющийся на экране потенциальный рельеф.

Таким же образом через блок регенерации осуществляется и запись новой информации.

Описанные принципы построения блок-схемы ЗУ на трубках с поверхностным перераспределением зарядов в значительной степени применимы к построению схем ЗУ и на других типах запоминающих электронно-лучевых трубок.

23. ЗАПОМИНАЮЩАЯ ТРУБКА ТИПА «СЕЛЕКТРОН»

В запоминающей трубке типа «селектрон» используется тот же принцип накопления зарядов на диэлектрике, что и в описанных ранее трубках. Однако конструкция селектрона значительно отличается от конструкции других трубок. Электроды расположены в нем концентрически. Катод окружен ускоряющей сеткой, сквозь которую электроны проходят по направлению к двум рядам взаимно-перпендикулярных селектирующих пластин. За селектирующими пластинами расположены коллекторная сетка и диэлектрический слюдяной экран, укрепленный на металлической сигнальной пластине.

Электроны движутся к экрану не в виде узкого электронного луча, который при помощи отклоняющей системы направляется на то или иное место экрана, а в виде широкого потока, облучающего всю поверхность селектирующих пластин.

Принцип выбора ячейки на экране по заданному адресу заключается в следующем.

Если на селектирующие пластины (рис. 41) подано отрицательное смещение, то оно препятствует проникновению электронов к экрану. Для того чтобы избрать требуемую ячейку, нужно подать положительный импульс на четыре селектирующие пластины — две соседние верти-

кальные и две соседние горизонтальные. Тогда электроны будут проникать на элементарный участок экрана, ограниченный со всех сторон пластинами, на которых имеется положительный потенциал. Этот участок на рисунке заштрихован. Четыре соседних участка, помеченные точками, хотя и ограничены с трех сторон пластинами с положительным потенциалом, остаются все же закрытыми для электронов.

Запись информации по заданному адресу осуществляется подачей того или иного напряжения на сигнальную пластину с одновременным открытием нужной ячейки подачей положительных импульсов на соответствующие селектирующие шины. При этом на избранном элементе создается потенциал, зависящий от напряжения, подававшегося при записи на сигнальную пластину. Для считывания записанного кода также надо открыть заданную ячейку и использовать импульсы тока в цепи сигнальной пластины для определения, какой потенциал имелся на данном элементе.

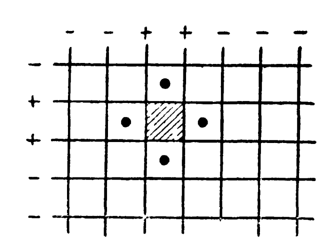


Рис. 41. Принцип выбора запоминающей ячейки в селектроне.

Для того, чтобы избежать необходимости делать из трубки очень большое количество выводов от каждой из селектирующих пластин, они определенным образом группируются. Это позволяет резко сократить количество выводных проводов. Оказывается, что при рациональной их группировке для управления M запоминающими ячейками селектрона достаточно вывести из него N проводов, где $N=4\sqrt[4]{M}$. Так, к экспериментальному селектрону, содержавшему 4 096 ячеек, подводилось лишь 32 провода, управляющих их выбором.

Для долговременного сохранения информации на экране селектрона без применения специальных схем регенерации можно использовать широкий поток медленных электронов, который облучает равномерно весь экран, поддерживая соответствующее состояние его отдельных элементов. При этом все ячейки в промежутки времени между последовательными обращениями к ЗУ должны находиться в открытом состоянии.

Метод сохранения информации при помощи поддержи-

вающего луча используется не только в селектроне. Предложена, например, конструкция трубки с тремя электронными прожекторами, предназначенными для записи, поддержания и считывания информации. При испытании одной из экспериментальных трубок такого типа было произведено до 1 млн. считываний одной и той же записи без существенного ее изменения. Кроме того, наличие отдельных записывающего и считывающего лучей позволяет производить одновременно и независимо друг от друга запись и считывание информации в различных ячейках.

В заключение следует отметить, что, несмотря на ряд перечисленных ранее недостатков электронно-лучевых трубок как запоминающих приборов, работа над усовершенствованием существующих и созданием новых типов запоминающих трубок продолжается и в ряде случаев они, несомненно, будут применяться и в будущем.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА КОНДЕНСАТОРАХ

24. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ОБЫЧНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ

Принцип накопления информации на конденсаторах чрезвычайно прост. Если приписать разряженному состоянию конденсатора значение «0», а заряженному его состоянию — значение «1», то из n конденсаторов можно составить регистр, пригодный для запоминания n-разрядного числа. Для различения записи кодов «0» и «1» можно также использовать заряд конденсатора напряжением положительной или отрицательной полярности, считая, что незаряженный конденсатор не хранит никакой информации.

Основными проблемами, которые требуют разрешения при создании электростатических ЗУ на обычных конденсаторах, являются разработка достаточно удобных и надежных схем записи и считывания информации, а также решение проблемы длительного хранения информации, связанное с ее постепенным разрушением из-за разряда конденсаторов за счет утечек.

На рис. 42 показана схема ячейки диодно-конденсаторного ЗУ. Основными его элементами являются конден-

сатор и два диода. К концам обмоток дифференциального трансформатора подведены равные по абсолютной величине отрицательное и положительное напряжения смещения относительно земли. Этими напряжениями оба диода заперты, а потенциал средней точки *в* вследствие симметрии схемы равен нулю.

Процесс записи информации в ячейку ЗУ иллюстрируется временно́й диаграммой напряжений, представленной на рис. 43. В момент t_1 на трансформатор подается

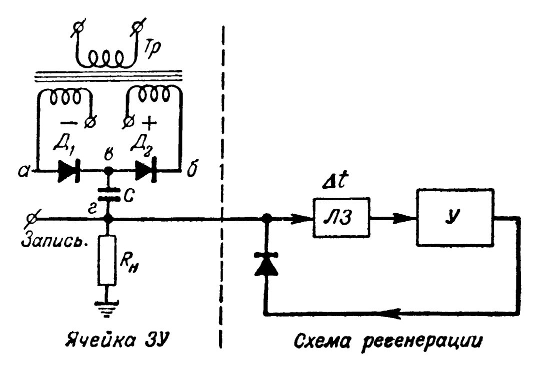


Рис. 42. Ячейка диодно-конденсаторного запоминающего устройства со схемой регенерации.

импульс напряжения, который обеспечивает появление положительного потенциала в точке *а* и отрицательного в точке *б*. При этом оба диода отпираются, но потенциал точки *в* благодаря симметрии схемы остается равным нулю.

В момент t_2 в точку *г* подается положительный импульс записи, заряжающий нижнюю пластину конденсатора до некоторого положительного потенциала относительно нулевого потенциала точки *в*.

В момент t_3 прекращается подача импульсов через трансформатор, отчего диоды снова запираются и точка *в* изолируется от земли.

В момент t_4, когда прекращается подача импульса записи, потенциал нижней его обкладки относительно земли становится равным нулю. Но так как верхняя обкладка в этот момент изолирована от всей схемы, то заряд конденсатора не меняется и на верхней обкладке устанавливается отрицательный потенциал, равный амплитуде импульса записи.

Если затем не оказывать на схему никаких внешних воздействий, то вследствие утечки через диоды $Д_1$ и $Д_2$ напряжение на верхней обкладке конденсатора будет убывать по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = CR_{обр}/2$, где C — емкость конденсатора, а $R_{обр}$ —обратное сопротивление одного диода. Поэтому, чтобы обеспечить сохранение информации в течение сколь угодно длительного промежутка времени, необходима ее периодическая регенерация.

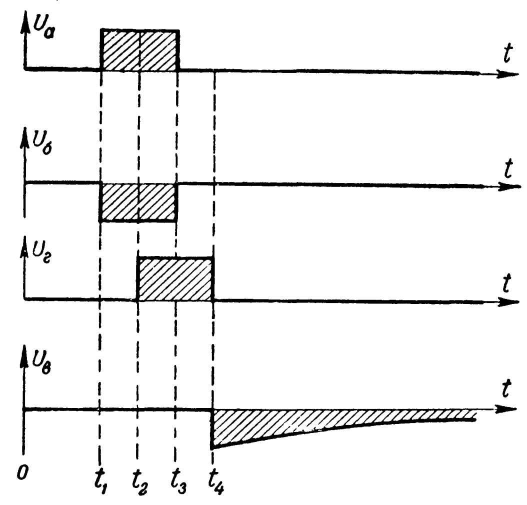


Рис. 43. Временна́я диаграмма записи информации.

Для этой цели устройство дополняется схемой регенерации, показанной на рис. 42 и включающей линию задержки, усилитель и вентиль. Для регенерации нужно подавать в обмотку трансформатора периодическую последовательность импульсов.

Временна́я диаграмма, характеризующая процессы регенерации, изображена на рис. 44. Предположим, что в результате осуществленной ранее записи на верхней обкладке конденсатора имеется некоторый отрицательный потенциал, а оба диода ячейки заперты. Поданный в момент t_1 импульс отопрет диоды, и конденсагор начнет разряжаться по цепи, включающей соединенные в параллель оба диода, обе обмотки трансформатора и источники питания и далее—землю и сопротивление $R_н$. Импульс разряд-

ного тока создаст падение напряжения на сопротивлении $R_н$, а в точке *г* возникнет импульс положительного напряжения, который через линию задержки на время Δt подается на вход усилителя. После усиления в точку *г* поступает импульс того же знака, но большей амплитуды, в результате чего потенциал точки *г* в момент времени $t_2 = t_1 + \Delta t$ возрастает.

В момент t_3 прекращаются импульсы, поступающие в схему из трансформатора, и точка *в* оказывается изоли-

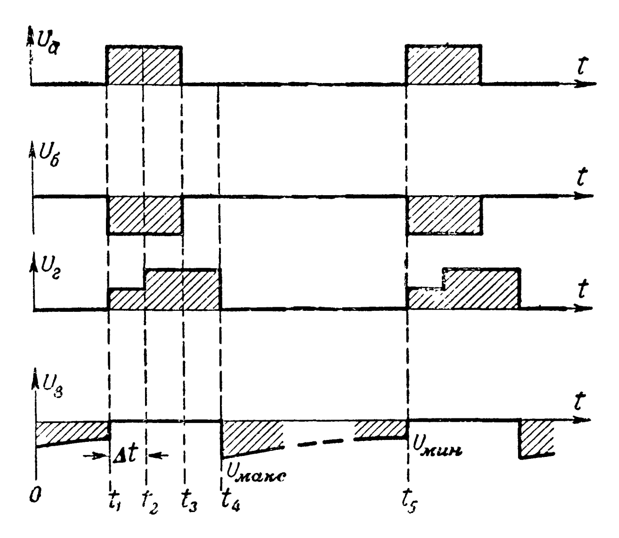


Рис. 44. Временна́я диаграмма регенерации информации.

рованной от земли. Наконец, в момент t_4, когда прекращается импульс, поступающий от усилителя, верхняя пластина вновь приобретает отрицательный потенциал, значительно больший, чем до момента t_1. Далее опять начинается разряд конденсатора по экспоненциальному закону через запертые вентили, продолжающийся до момента t_5, когда в схему через трансформатор поступают следующие тактовые импульсы и начинается очередной цикл регенерации.

Считывание информации производится путем параллельного отбора импульсов с любого из участков цепи регенерации.

На описанном принципе можно создать достаточно простые диодно-конденсаторные ЗУ емкостью в несколько тысяч чисел при условии применения специальных диодов с большим отношением обратного и прямого сопротивлений. По скорости работы диодно-конденсаторные ЗУ могут успешно конкурировать с ЗУ на электронно-лучевых трубках и на ферритовых сердечниках. Достоинствами описанного ЗУ являются его большая механическая прочность и вибростойкость, а также возможность использования при его конструировании компактного печатного монтажа.

Как недостатки устройства следует отметить применение большого количества диодов (по два диода на каждую двоичную единицу емкости), что приводит к снижению надежности, а также необходимость регенерации информации. Впрочем, ЗУ, предназначенные для кратковременного хранения информации, можно построить по очень простой схеме, не предусматривающей регенерации.

25. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА БИСТАБИЛЬНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ С ФЕРРОЭЛЕКТРИКОМ

Большие перспективы для создания малогабаритных ЗУ большой емкости сулит применение бистабильных конденсаторов, в которых вместо обычных диэлектриков используются так называемые сегнетоэлектрики или ферроэлектрики.

Сегнетоэлектриками называются материалы, обладающие диэлектрической поляризацией без внешних электрических воздействий. Этим они отличаются от обычных диэлектриков, поляризованное состояние которых возникает и может сохраняться лишь под влиянием внешнего электрического поля, после прекращения действия которого поляризация быстро исчезает.

Сегнетоэлектрики представляют собой кристаллические или поликристаллические вещества, причем их особые свойства были обнаружены впервые у сегнетовой соли, от которой они и получили свое название.

Так как диэлектрические свойства этой группы материалов в значительной степени напоминают магнитные свойства ферромагнитных материалов, то в технической литературе сегнетоэлектрики очень часто называют ферроэлектриками. В дальнейшем мы также будем пользоваться этим названием.

Наиболее распространенным в настоящее время ферроэлектриком является титанат бария. Для использования в ЗУ необходим монокристаллический титанат бария, свойства которого характеризуются зависимостью диэлектрического смещения D от напряженности электрического поля E, имеющей форму, близкую к прямоугольной, как это имело место для зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля рассматривавшихся ранее ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса (рис. 28).

Такие свойства ферроэлектриков позволяют создавать бистабильные конденсаторы, т. е. конденсаторы, сохраняющие одно из двух устойчивых состояний после прекращения действия внешнего поля и даже в условиях короткого замыкания или относительно слабого поля противоположного направления.

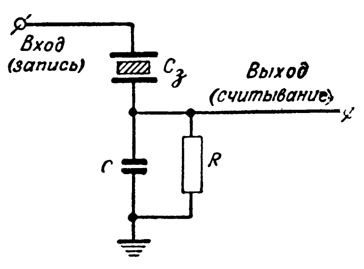


Рис. 45. Принципиальная схема запоминающей ячейки на бистабильном конденсаторе с ферроэлектриком.

В экспериментальных образцах конденсаторов с ферроэлектриком использовались пластинки титаната бария толщиной около 0,1 *мм* и площадью около 1 *мм*^{2}, покрытые с обеих сторон металлическими обкладками. Полученные таким образом конденсаторы имели емкость порядка 100 *пф*.

Принципиальная схема включения ферроэлектрического конденсатора как элемента ЗУ приведена на рис. 45. Запоминающая ячейка состоит из двух последовательно включенных конденсаторов — запоминающего конденсатора с ферроэлектриком $C_з$ и обычного конденсатора C, параллельно которому включено сопротивление R.

Подавая на вход ячейки импульсы записи с достаточной амплитудой, можно переводить бистабильный конденсатор $C_з$ из одного устойчивого состояния в другое, приписывая одному из них значение «0», а другому «1». Такова физическая основа запоминания информации, которая затем благодаря гистерезисным свойствам ферроэлектрика сохраняется сколь угодно длительное время без регенерации.

Считывание информации производится подачей на вход импульса, совпадающего по направлению с импуль-

сом записи нуля. При этом, если на запоминающем конденсаторе был ранее записан нуль, то состояние его не изменится и на выходе не будет появляться никакого сигнала. Если же запоминающий конденсатор находился в состоянии, соответствующем записи единицы, то поляризация его изменится, через включенный в схему обычный конденсатор C пройдет импульс тока смещения, который и создаст на сопротивлении R и, следовательно, на выходе, сигнал считывания «1».

На ферроэлектрических конденсаторах, как и на ферритовых сердечниках, могут быть созданы матричные ЗУ большой емкости. Бистабильные конденсаторы подключаются в узлах матрицы одной обкладкой к горизонтальной и другой обкладкой к вертикальной пересекающимся шинам и работают на принципе совпадения импульсов напряжений на этих шинах.

Основными достоинствами ЗУ на ферроэлектриках являются их экономичность (для управления запоминающими элементами требуется мощность порядка сотых долей ватта на 1 дв. ед.); быстродействие, допускающее использование управляющих импульсов длительностью около 1 *мксек*; исключительно малые габариты. При употреблении достаточно тонких, порядка 0,1 *мм*, кристаллов на пластинке площадью 1 *см*^{2} можно записать около 2 000 дв. ед. информации. Важно также, что для изменения поляризации ферроэлектриков можно применять очень низкие напряжения (менее 10 *в*), что позволяет использовать ферроэлектрические ЗУ в сочетании с управляющими схемами, выполненными на полупроводниковых триодах.

Однако до настоящего времени ферроэлектрические ЗУ не получили практического применения в связи с серьезными технологическими трудностями выращивания достаточно тонких, однородных по всему объему монокристаллов титаната бария.

Среди новых ферроэлектрических материалов, пригодных для использования в ЗУ, представляет интерес сульфат триглицина, имеющий достаточно низкую коэрцитивную напряженность электрического поля порядка нескольких десятков вольт на 1 *мм*. Технология выращивания кристаллов сульфата триглицина значительно проще, чем кристаллов титаната бария. Однако этот ферроэлектрик может работать в значительно меньшем диапазоне температур, чем титанат бария.

Очевидно, что если в дальнейшем удастся успешно освоить технологию производства титаната бария или других вновь созданных ферроэлектриков с хорошими запоминающими свойствами, то ферроэлектрические ЗУ найдут самое широкое применение благодаря своим малым размерам, экономичности, быстродействию и надежности.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

26. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

В отличие от всех рассматривавшихся до сих пор статических ЗУ, в которых информация в течение всего времени хранения остается неподвижной относительно носителя, в динамических ЗУ имеет место непрерывная циркуляция информации в некотором замкнутом контуре.

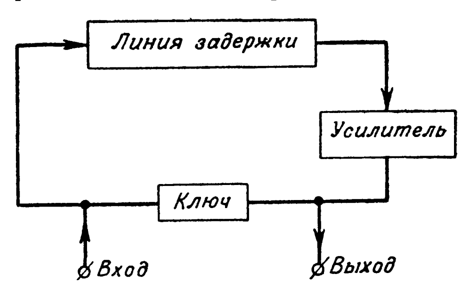


Рис. 46. Упрощенная блок-схема динамического запоминающего устройства на линии задержки.

Рис. 46 иллюстрирует принцип построения динамического или, как его еще называют, рециркуляционного ЗУ на линии задержки. Информация, закодированная в виде электрических импульсов, поступает на вход схемы, проходит по линии задержки, в которой, помимо запаздывания во времени, происходит затухание амплитуды импульсов, усиливается усилителем, компенсирующим затухание в линии задержки, проходит через ключ, вновь поступает в линию задержки и т. д. Выборка информации может осуществляться каждый раз, когда кодовые им-

пульсы соответствующего числа появляются на выходе усилителя и, следовательно, могут быть считаны на зажиме «выход» системы.

Для стирания всей хранящейся в ЗУ информации достаточно на время, равное или большее времени распространения колебаний по линии задержки, разорвать ключом K цепь циркуляции.

Емкость ЗУ рециркуляционного типа определяется тем количеством импульсов n, которое может одновременно размещаться вдоль линии задержки и которое, очевидно, зависит от частоты следования импульсов f и времени распространения их вдоль линии задержки $\tau_з$. Эта зависимость имеет вид $n = f\tau_з$, где $\tau_з$, в свою очередь, определяется длиной линии задержки l и скоростью распространения в ней v. Так как $\tau_з = \frac{l}{v}$, то, следовательно,

$$n = f\tau_з = \frac{fl}{v}.$$

Из этого выражения следует, что увеличения емкости ЗУ на линии задержки можно добиться повышением частоты следования кодовых импульсов, увеличением длины линии задержки или уменьшением скорости распространения в ней импульсов. Однако частота кодовых импульсов определяется в большинстве случаев не только оптимальными условиями хранения информации, но и условиями работы других устройств, работающих совместно с динамическим ЗУ. Например, в электронных вычислительных машинах эта частота зависит от скорости работы долговременных ЗУ, от типа и быстродействия арифметического устройства и других факторов; в радиолокационных системах — от частоты следования локационных импульсов и т. д. Применение линии задержки большой длины неприемлемо, так как при этом ЗУ получается очень громоздким. Таким образом, оказывается, что наиболее рациональным способом создания динамических ЗУ достаточно большой емкости является использование в них линий задержки, характеризующихся малой скоростью распространения импульсов.

Изготовление линий задержки с относительно малой скоростью распространения электрических импульсов представляет значительные трудности. Поэтому наибольшее распространение в достаточно емких динамических ЗУ получили ультразвуковые линии задержки, по которым

распространяются со сравнительно небольшой скоростью механические колебания. Эти колебания получают путем преобразования из электрических импульсов чаще всего при помощи кварцевого пьезопреобразователя, устанавливаемого в начале линии. В конце линии устанавливается второй кварцевый пьезопреобразователь, выполняющий обратную функцию преобразования механических колебаний в электрические импульсы.

В качестве материала проводника механических колебаний в ультразвуковых линиях задержки можно применить различные твердые и жидкие вещества, которые характеризуются следующими основными показателями:

1) скорость распространения ультразвука;
2) затухание энергии при распространении;
3) зависимость скорости распространения от температуры.

Наибольшее распространение в динамических ЗУ для изготовления ультразвуковых линий задержки получили: из жидкостей — ртуть, а из твердых веществ — плавленый кварц или кварцевое стекло, магниевые сплавы и проволока из никелевых сплавов.

Динамические ЗУ небольшой емкости строятся также и на электромагнитных линиях задержки — волноводных, из коаксиального кабеля, спиральных, из ячеек LC и др.

27. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

ЗУ на ртутных линиях задержки. В первых электронных вычислительных машинах в качестве быстродействующих оперативных ЗУ широкое распространение получили ЗУ на ртутных линиях задержки.

Конструктивно ртутная линия задержки (рис. 47) представляет собой металлическую (чаще всего стальную) трубку длиной 30—100 *см* и диаметром 1—2 *см*, заполненную очищенной ртутью. На концах линии в специальной арматуре вмонтированы кварцевые пьезопреобразователи таким образом, что пластинки кварца с обеих сторон соприкасаются с ртутью, выполяющей роль обкладок пьезоэлемента. Для устранения возможности многократных отражений колебаний в ртути задние стенки оконечных камер трубки скошены под углом 45°.

Если учесть, что скорость распространения колебаний в ртути $v \approx 1\,440$ *м/сек*, то, например, при длине трубки

$l=72$ *см* и частоте повторения импульсов $f=1$ *Мгц*, в линии задержки по длине одновременно разместится $n=\frac{fl}{v}=\frac{10^6\cdot 72}{1440\cdot 10^2}=500$ импульсов. Таким образом, в ЗУ на этой линии можно хранить 500 дв. зн. или, другими словами, двадцать 25-разрядных двоичных чисел.

На рис. 48 изображена блок-схема ЗУ на линии задержки. Кроме самой линии, в нее входит усилитель *У*, детектор *Д*, ряд ключей *К* и генератор высокой частоты *Г*.

Усилитель рассчитывается таким образом, чтобы скомпенсировать суммарное затухание, которое испытывают

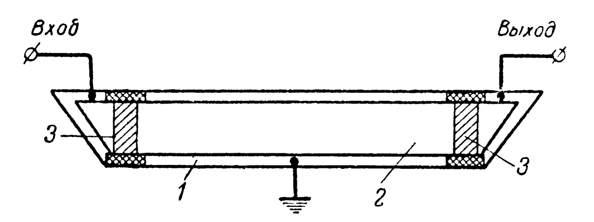


Рис. 47. Схематическая конструкция ртутной линии задержки.

1 — стальная трубка; 2 — ртуть;
3 — кварцевые пьезопреобразователи.

импульсы при циркуляции по замкнутому кругу. Это затухание складывается из потерь при детектировании, при преобразовании импульсов и при их распространении по линии задержки. Последнее составляет около 0,083 *дб/см*.

Чтобы обеспечить хорошее сохранение формы импульсов, они подводятся не непосредственно к пьезопреобразователю в начале линии задержки, а используются для модуляции колебаний высокой частоты, вырабатываемых генератором высокой частоты. Таким образом, к входному преобразователю поступают импульсы высокой частоты. Несущая частота выбирается так, чтобы она совпадала с резонансной частотой кварцевых пластин преобразователей. Практически используются несущие частоты от 5 до 30 *Мгц*. На выходе трубки вслед за пьезопреобразователем устанавливается детектор, в котором происходит демодуляция импульсов.

Электрические ключи, показанные на схеме, имеют следующее назначение. Ключ $К_1$, включенный в цепь входа, предназначается для управления процессом запи-

си информации. Он пропускает через себя в схему импульсы, поступающие на вход ЗУ, когда на ключ подается управляющее напряжение, разрешающее запись информации. Аналогично ключ K_3, включенный в цепь выхода, пропускает из схемы ЗУ на выход импульсы, когда на ключ подано управляющее напряжение, разрешающее считывание информации.

Ключ K_2 предназначается для стирания информации. Это достигается тем, что под влиянием напряжения, уп-

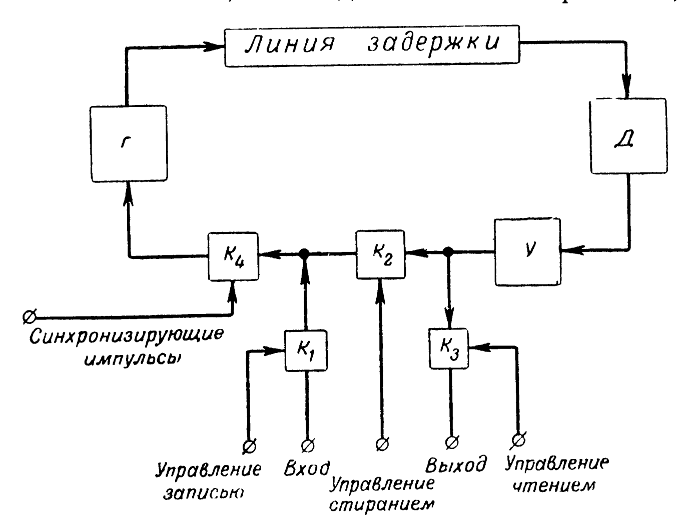


Рис. 48. Блок-схема динамического запоминающего устройства на линии задержки.

равляющего стиранием, в ключе K_2 прерывается цепь на время, когда через него должны проходить кодовые импульсы чисел, подлежащих стиранию.

Считывание нужного числа из динамического ЗУ может быть произведено не в любое время, а лишь в тот момент, когда оно проходит мимо выхода схемы. Поэтому всякое считывание информации из динамического ЗУ связано с некоторым временем ожидания, которое в худшем случае может достигнуть полного времени (периода) рециркуляции $T = \tau_з = l/v$. Для рассматривавшейся нами ртутной линии длиной 72 *см* это время составит 0,5 *мсек*, а среднее время ожидания оказывается равным 0,25 *мсек*.

Для достижения точного соответствия времени отпи-

рания тех или иных ключей моментам прохождения через них или мимо них кодовых импульсов необходимых чисел требуется обеспечение синхронной работы динамического ЗУ с другими связанными с ним устройствами. В частности, в электронных вычислительных устройствах необходима такая синхронизация с другими ЗУ, арифметическими устройствами и прочими блоками. Этой цели и служит ввод в динамическое ЗУ через ключ K_4 синхронизирующих или тактовых импульсов. Для обеспечения синхронной работы необходимо также весьма точное регулирование температуры линии задержки, так как скорость распространения волн в ртути значительно изменяется с изменением ее температуры (температурный коэффициент скорости распространения колебаний в ртути составляет около $3 \cdot 10^{-4}$ на 1° С).

Во избежание возможных ошибок в работе ЗУ, связанных с изменениями внешней температуры, в некоторых ЗУ линии задержки помещают в автоматически регулируемый термостат. В других случаях применяется метод, заключающийся в автоматическом регулировании частоты основного генератора импульсов в соответствии с изменениями температуры линий задержки. Оба этих способа преследуют одну и ту же цель — добиться того, чтобы независимо от изменений температуры внешней среды в линии всегда помещалось одно и то же количество импульсов.

В качестве примера ЗУ на ртутных линиях задержки можно привести оперативное ЗУ электронной машины «МОЗАИК» (США). Это ЗУ содержит 64 основных длинных и 32 более коротких ртутных трубок. Последняя часть представляет собой вспомогательное ЗУ. Все они помещены в термоизолированном шкафу, в котором поддерживается неизменная температура с точностью до ±0,5° С. Частота следования тактирующих импульсов 570 *кгц*. В каждой из длинных линий хранится по 16 40-разрядных двоичных чисел. Общая емкость этого ЗУ превышает 1 000 чисел, а полный вес использованной в нем ртути составляет более полутонны.

Новые ЗУ на ртутных линиях почти не строятся, и в современных установках чаще прибегают к ультразвуковым линиям задержки с твердой передающей средой и преобразователями пьезоэлектрического или магнитострикционного типа.

ЗУ на линиях задержки с пьезоэлектрическими преобра-

зователями. Для изготовления линий задержки с твердым пьезоэлектрическим проводником механических ультразвуковых колебаний широкое применение получил плавленый кварц. По сравнению с ртутью он характеризуется значительно меньшим затуханием (около 0,007 *дб/см*) и более слабой зависимостью скорости распространения колебаний от температуры (температурный коэффициент скорости распространения колебаний равен около $1 \cdot 10^{-4}$ на 1° С).

Линия задержки из плавленого кварца (рис. 49) представляет собой стержень прямоугольной формы, к поверхности которого на концах приклеены кварцевые преобразователи. При подаче импульсов записи на вход линии они попадают на обкладки первого кварцевого преобразователя и преобразуются им в механические колебания.

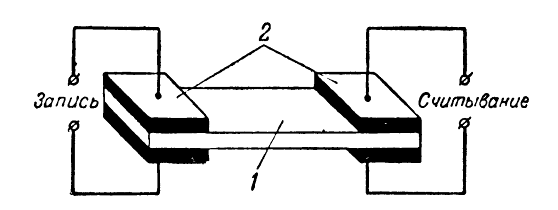


Рис. 49. Линия задержки на пьезоэлектрике.
1 — стержень из пьезоэлектрика; *2* — преобразователи.

Эти колебания возбуждают в кварцевом стержне поперечную волну, которая распространяется со скоростью около 5 450 *м/сек* к выходному концу, где второй пьезопреобразователь превращает механические колебания в электрические импульсы, поступающие на выход линии.

Как и в случае применения ртутных линий задержки, для ввода информации в твердую линию задержки используются модулированные кодовыми импульсами колебания несущей частоты, достигающей 30 *Мгц*. Блок-схема ЗУ на твердой линии в принципе не отличается от блок-схемы ЗУ на ртутной линии задержки (рис. 48).

Для уменьшения температурных влияний линии задержки иногда помещаются в специальные термостаты. Так как температурный коэффициент скорости у плавленого кварца почти в 3 раза меньше, чем у ртути, то при одинаковой заданной точности и одинаковой степени регулирования температуры в кварцевых линиях можно использовать импульсы с примерно в 3 раза большей часто-

той повторения, и следовательно, при одинаковом времени задержки хранить в 3 раза бо́льшую информацию.

Запоминающие блоки на кварцевых ультразвуковых линиях задержки, работающие в одном из разработанных ЗУ, позволяют хранить до 1 100 дв. ед. информации при рабочей частоте импульсов 1 *Мгц* и времени задержки 1 100 *мксек*. Соответствующее регулирование температуры обеспечивает стабильность этого времени задержки с точностью до 0,1 *мксек*.

Для получения длительных задержек иногда применяются кварцевые линии задержки с многократными отражениями типа «двойной клин» и в форме многогранников. Так, например, изготовлена линия задержки, имеющая форму многогранника, отшлифованного из шайбы диаметром 43 *см* и обеспечивающая время задержки 3 300 *мксек*.

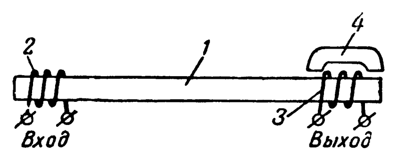


Рис. 50. Магнитострикционная линия задержки.

1 — металлическая лента; *2* — передающая катушка; *3* — приемная катушка; *4* — постоянный магнит.

ЗУ на линиях задержки с магнитострикционными преобразователями. Эти линии задержки основаны на явлении изменения формы и размеров тел из некоторых ферромагнитных веществ (железа, никеля, кобальта и их сплавов) при намагничивании. Это явление носит название магнитострикции.

Конструкция магнитострикционной линии схематически изображена на рис. 50. Она представляет собой металлическую, изготовленную чаще всего из никеля или его сплавов, проволоку или ленту некоторой длины, зависящей от потребной емкости ЗУ. При выборе длины ленты следует исходить из того, что скорость распространения ультразвуковых колебаний в никеле составляет около 4 800 *м/сек*. Для преобразования колебаний используются катушки, навитые у концов ленты, причем приемная катушка помещается в поле постоянного магнита. Ультразвук распространяется в ленте в виде продольных волн, при которых происходит изменение длины, а следовательно, и плотности материала ленты. На приемном конце это вызовет появление в катушке наведенной э. д. с.

Магнитострикционные линии задержки относительно просты и дешевы и обладают малым температурным ко-

эффициентом скорости. Однако недостатками их являются большие вторичные отражения от концов линии и низкие значения допускаемой несущей частоты ультразвука (не более 500—600 *кгц*), что затрудняет их использование в ЗУ достаточно большой емкости.

Значительно большей емкости удалось достигнуть в ЗУ на проволочной магнитострикционной линии задержки, по которой распространяются крутильные колебания. При этом для получения одинаковой задержки требуется длина проволоки, почти вдвое меньшая, чем при продольных колебаниях.

ЗУ на магнитострикционных линиях задержки благодаря их компактности, простоте конструкции и малому расходу мощности целесообразно использовать, например, в электронных машинах последовательного действия и в некоторых радиолокационных устройствах.

28. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

Электромагнитные линии задержки применяются как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами.

Искусственная линия с сосредоточенными параметрами состоит из катушек индуктивности и конденсаторов. Время задержки $\tau_з$ в такой линии, состоящей из n звеньев, определяется соотношением $\tau_з = n\sqrt{LC}$ [*сек*], где L и C выражены соответственно в генри и фарадах. Практически в таких линиях можно получить время задержки импульсов порядка нескольких десятков микросекунд.

В качестве линий задержки с распределенными параметрами могут быть применены коаксиальные кабели, специально сконструированные спиральные линии и волноводы.

Время задержки в коаксиальном кабеле определяется выражением

$$\tau_з = 0,33 \cdot 10^{-8} l \sqrt{\varepsilon} [сек],$$

где l — длина кабеля, *м*;

ε — диэлектрическая проницаемость изолирующего материала кабеля, для полиэтилена, например, $\varepsilon = 2,25$ и величина задержки равна 5 *мксек/км*.

Таким образом, при практически приемлемой длине коаксиального кабеля можно получить время задержки, не превышающее нескольких микросекунд. Соответственно и емкость ЗУ на коаксиальном кабеле не превышает нескольких двоичных единиц информации.

Возможность применения в качестве линий задержки спиральных линий или линий соленоидного типа обусловлена тем, что электромагнитные волны распространяются по проводам спирали со скоростью, близкой к скорости света, и, следовательно, распространение их вдоль спирали происходит со скоростью, во столько раз меньшей, во сколько длина оси спирали меньше длины провода спирали. Таким образом, время задержки $\tau_з$ в спиральной линии оказывается равным:

$$\tau_з = \frac{l_w l}{c},$$

где l_w — длина провода спирали на единицу длины оси спирали:

l — длина спирали вдоль ее оси;

c — скорость света.

Практически при частоте следования импульсов порядка 10—20 *мгги* возможно создать спиральные линии, в которых размещается до 10 импульсов на 1 *м* длины линии.

Одним из видов линий с распределенными постоянными являются и полые проводники электромагнитных колебаний — волноводы. Так как процесс распространения энергии в волноводах можно рассматривать как результат многократных отражений волн от противоположных стенок, то очевидно, что составляющая скорости распространения энергии вдоль оси волновода, или так называемая групповая скорость $v_{гр}$, может стать сколь угодно малой при приближении угла падения волны на стенку волновода к нулю. Практически, однако, применяя волноводные линии задержки, удается создавать динамические ЗУ емкостью порядка не более нескольких десятков двоичных единиц.

Таким образом, можно сделать вывод, что на существующих в настоящее время электромагнитных линиях задержки имеет смысл создавать динамические ЗУ лишь малой емкости, скажем, до 100 дв. ед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предшествующих главах приведены основные сведения о наиболее разработанных и интересных типах ЗУ, которые либо уже находят применение в современной технике, либо имеют перспективы внедрения в дальнейшем после усовершенствования их конструкции и технологии изготовления.

Однако описанными выше ЗУ ни в коей мере не исчерпываются потенциальные возможности расширения ассортимента устройств хранения дискретной информации. Ученые, инженеры, техники, конструкторы непрерывно работают над задачей использования разнообразнейших физических и химических явлений для создания все новых и новых элементов, пригодных для построения на них запоминающих устройств.

При этом, с одной стороны, работа ведется в направлении создания наиболее экономичных, малогабаритных, технически совершенных быстродействующих ЗУ, которые можно было бы использовать в создаваемых и разрабатываемых в настоящее время электронных вычислительных машинах и других установках, включающих блоки памяти. Наиболее высокие требования, предъявляемые к таким устройствам сегодняшнего дня, ограничиваются быстродействием порядка микросекунд или долей микросекунды, информационной емкостью порядка нескольких десятков миллионов двоичных единиц, причем допускаются размеры ЗУ, достигающие долей кубометра или даже нескольких кубометров, и мощность питания порядка единиц и даже десятков киловатт.

С другой стороны, в порядке научного задела для удовлетворения потребностей будущего (причем, учитывая стремительные темпы развития науки и техники, весьма близкого будущего) ведутся поисковые работы по созданию ЗУ с быстродействием порядка тысячных долей микросекунды, емкостью порядка сотен миллионов и миллиардов двоичных единиц с размерами порядка нескольких кубических дециметров и потребляемой мощностью, ограниченной десятками — сотнями ватт или единицами киловатт.

В настоящем заключении мы перечислим некоторые из вносившихся в различное время предложений, не описанных в книге.

Еще в 1947 г. в Англии были предложены термические ЗУ, в которых специальные подогреватели воздей-

ствуют на запасающие тепло элементы, информация с которых считывается при помощи чувствительных термопар. Такие ЗУ обладают, конечно, значительной инерционностью и требует периодической регенерации информации.

Предлагалось применение чувствительного к колебаниям температуры пигмента, обладающего так называемым цветовым гистерезисом в диапазоне температур от 0 до 100° С. Под действием температуры пигмент изменяет цвет и остается в таком состоянии до тех пор, пока на него не будет произведено вторичное температурное воздействие противоположного знака.

Разработано ЗУ с электронно-оптической обратной связью, состоящее из ячеек, каждая из которых представляет своеобразный фотоэлектронный триггер. Катод ячейки покрыт фоточувствительным слоем, а анод — фосфоресцирующим веществом. Под действием света от экрана электронно-лучевой трубки возникает поток электронов в ячейке, направленный от катода к аноду, анод начинает светиться и поддерживает электронный поток. Стирание информации осуществляется кратковременным ярким освещением катода, в результате чего он перегружается и временно теряет способность поддерживать поток электронов.

Испытывалось ЗУ с использованием коронного разряда, представляющее собой вращающийся с большой скоростью стеклянный диск, который накапливает заряды, стекающие с иглообразных электродов. Накопленные заряды могут сохраняться в течение нескольких секунд. Для считывания применяется другая система игл.

В лабораториях фирмы Эриксон (Швеция) разработано ЗУ на специальных вакуумных лампах с использованием эффекта вторичной электронной эмиссии, при которой внутреннее сопротивление лампы становится отрицательным. При этом режим лампы характеризуется двумя устойчивыми состояниями. Такие лампы, имеющие по 20 независимых друг от друга запоминающих электродов, применены, например, в регистрах разработанной фирмой электронной автоматической станции.

Для запоминания информации, закодированной в системах счисления, отличных от двоичной, могут применяться мультиустойчивые схемы на вакуумных лампах или полупроводниковых триодах.

В 1957 г. в лабораториях фирмы Белл (США) разработано матричное магнитное ЗУ, получившее название

«твистор». В нем запоминающими элементами являются участки горизонтальных шин из магнитной проволоки. В узлах матрицы на эти шины навито по несколько витков, которые включены в вертикальные шины из обычной проволоки. Устройство работает по принципу совпадения токов и характеризуется простотой, высокой экономичностью и быстродействием, сравнимыми с ферритовым ЗУ.

Разработаны теоретические основы использования для запоминания информации явления ядерного резонанса.

Для создания достаточно компактных ЗУ предложены специальные запоминающие электролитические диоды с активным электродом из колумбия или тантала и пассивным электродом из золота или серебра.

Одной из зарубежных фирм (США) разработаны фотохимические бистабильные элементы с временем срабатывания порядка микросекунд. Они состоят из мельчайших капсул диаметром около 2,5 *мк* с оболочками из желатина, наполненных смесью масла, желатина, коллоидов и фотохромного вещества, изменяющего свою окраску под влиянием световых лучей с определенной длиной волны.

Освоена технология изготовления таких капсул в виде тонкого слоя, в котором на 1 $см^2$ приходится до 15 млн. капсул. Подобное устройство может послужить основой для создания информационных машин с быстродействующей памятью, соизмеримой по объему с мозгом человека.

Разработано емкостное «сотовое» ЗУ мозаичного типа на тонком листе стекла с крошечными углублениями, заполненными металлом. Это ЗУ умеет удельную емкость до 150 000 дв. ед. на 1 $см^2$.

Применение тонких магнитных пленок позволит, по-видимому, в будущем сконструировать сверхбыстродействующие ЗУ со временем срабатывания порядка десятков или даже единиц наносекунд (миллимикросекунд) и плотностью записи до миллиона двоичных единиц на 1 $см^2$.

Выше бегло перечислен ряд предложенных, еще не нашедших практического осуществления и применения принципов, на которых могут быть созданы ЗУ. Многие из этих принципов использовать, вероятно, и нецелесообразно, как, например, принцип теплового ЗУ или ЗУ с использованием коронного разряда. Подобное же далеко не полное перечисление различных предложений сделано с целью показать, какие многообразные возможности имеются для создания новых типов ЗУ.

Нет сомнения в том, что в ближайшие годы будут созданы новые типы ЗУ, удовлетворяющие все возрастающим требованиям автоматики и телемеханики, техники связи и научного эксперимента, радиолокации и вычислительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

Долуханов М. П., Введение в теорию передачи информации по электрическим каналам связи, Связьиздат, 1955.

Казарян Р. А., Кувшинов Б. И., Назаров М. В., Элементы общей теории связи, Госэнергоиздат, 1957.

Китов А. И., Электронные цифровые машины, Изд. «Советское радио», 1956.

Майоров Ф. В., Электронные регуляторы, Гостехиздат, 1956.

Моисеев В. Д., Автоматические вычислительные машины, Трансжелдориздат, 1956.

Крайзмер Л. П., Техническая кибернетика, Госэнергоиздат, 1958.

Майоров Ф. В., Электронные цифровые вычислительные устройства, Госэнергоиздат, 1957.

Петрович Н. Т., Козырев А. В., Генерирование и преобразование электрических импульсов, Изд. «Советское радио», 1954.

Быстродействующая вычислительная машина М-2, под ред. Брука И. С., Гостехиздат, 1957.

Павликов А. А., Быстродействующая электронная счетная машина Академии наук СССР, Магнитное запоминающее устройство, Изд. АН СССР, 1957.

Лаут В. Н., Любович Л. А., Запоминающее устройство на электронно-лучевых трубках быстродействующей электронной счетной машины Академии наук СССР, Изд. АН СССР, 1957.

Бесконтактная коммутация и электронные АТС, Информационный сборник, Связьиздат, 1958.

Бакулев П. А., Радиолокационные методы селекции движущихся целей, Оборонгиз, 1958.

Автоматическое управление и вычислительная техника, Труды совещания, проведенного в марте 1957 г., под ред. Солодовникова В. В., Машгиз, 1958.

Быстродействующие вычислительные машины, под ред. Панова Д. Ю., Изд. иностранной литературы, 1952.

Вычислительные машины (СЕАК и ДИСЕАК) Национального бюро стандартов США, под ред. Тарасевича В. М., Машгиз, 1958.

Вычислительная техника, Сборник статей, Изд. АН СССР, 1958.

Брюининг Г., Физика и применение вторичной электронной эмиссии, Изд. «Советское радио», 1958.

Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, Изд. иностранной литературы, 1957.

СПРАВКА

Госэнергоиздат книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом (без задатка) «Книга-почтой».

Заказы можно направлять — г. Москва, В-218, 5-я Черемушкинская, 14 — книжный магазин № 93 «Книга-почтой». Магазин высылает список имеющейся литературы по запросу, к которому прилагается конверт с наклеенной маркой.

Высылку книг наложенным платежом производят также магазины технической книги: № 8 — Москва, Петровка, 15.

Рекомендуем заказывать литературу только по плану текущего года. Книги «Массовой радиобиблиотеки» расходятся очень быстро и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.

Литературу по вопросам связи и радио, выпускаемую Связьиздатом и имеющуюся в наличии, высылает Центральная розничная контора «Союзпечать», «Книга-почтой» (Москва, К-9, Страстной бульвар, 10).

Книги в адрес «Полевая почта» и «До востребования» высылаются только по получении стоимости книг и стоимости пересылки их почтой.

Цена 2 р. 65 к.